

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M2301 - Strojní inženýrství

Strojírenská technologie

zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Monitorování vybraných parametrů svařovacího procesu a kvalita odporových bodových svarů.

Monitoring of selected welding process parameters and spot welds quality.

Michal Krejbich

KSP – SM – 551

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. - *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran 63

Počet stran příloh 8

Počet obrázků 46

Počet tabulek 9

Datum: 5. 6. 2009

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: M2301 – Strojní inženýrství
Diplomant: Michal Krejbich
Téma práce: **Monitorování vybraných parametrů svařovacího procesu a kvalita odporových bodových svarů.**
Monitoring of selected welding process parameters and spot welds quality.
Číslo DP: KSP - SM - 551
Vedoucí DP: Doc. Ing. Heinz Neumann, CSc. - *TU v Liberci*

Abstrakt:

Diplomová práce se zabývá sledováním vybraných vlivů způsobujících opotřebení elektrod v průběhu svařovacího procesu a výslednou kvalitou bodových svarů. Jsou zde uvedeny charakteristiky odporových metod svařování a jejich fyzikální podstaty. Popsány jsou základní svařovací parametry, jejich vliv na kvalitu odporových svarů a způsoby hodnocení kvality bodových svarů metodickými postupy destruktivními a nedestruktivními zkouškami. Cílem práce bylo vypracovat postup zpracování naměřených dat okamžitě po provedení svaru a umožnit tak korekci v nastavení svařovacích parametrů před vytvořením následujícího svaru. V rámci možností byl navržen experimentální program, který monitoruje dynamický průběh proudu a napětí v závislosti na čase.

Abstract:

The thesis is engaged in observing of selected forces causing deterioration of electrodes during welding process and final quality of spot welds. The characteristics of resistance welding methods and their physical principles are mentioned here. The

basic parameters of welding and their influence on the resistance welds quality are described here as well as ways of spot welds quality assessment with methodical procedures for destructive and non-destructive tests. The goal of this work was to work out a method of processing of data acquired immediately after finishing a weld and thus enabling the correction of welding parameters before next weld creation. About as good as it could be experimental software was designed for monitoring dynamic current flow and tension in dependence on time.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 26. května 2009

.....

Michal Krejbich

Lánská 1035, Červený Kostelec, 549 41

Rád bych poděkoval doc. Ing. Heinzi Neumannovi za věcné návrhy a rady,
bez nichž by práce neměla tuto podobu.

Obsah	6
Seznam použitých zkratk a symbolů	7
1. Úvod	9
2. Odporové svařování	10
2. 1 Bodové svařování	11
2.1.1 Geometrie bodového svaru	14
2.2 Švové svařování	15
2. 3 Výstupkové svařování	16
2. 4 Stykové odporové svařování	16
2.5 Elektrody pro odporové bodové svařování	17
2.5.1 Životnost elektrod	19
3. Parametry svařování	20
3.1 Měřitelné veličiny svařovacího procesu	26
3.1.1 Elektrické veličiny	27
3.1.2 Mechanické veličiny	27
3.2 Kvalita bodových svarů	27
3.2.1 Destruktivní zkoušky	29
3.2.2 Nedestruktivní zkoušky	35
4. Charakter a rozsah změn základního materiálu při svařování	39
4.1 Teplotní pole a deformace	40
5. Cíle diplomové práce	42
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE	43
6. Vybavení svařovacího pracoviště	43
7. Průběh experimentu	47
7.1 Použitý materiál a příprava měření	47
7.2 Nastavené parametry	49
7.3 Záznam dat	49
7.4 Zpracování dat a vyhodnocení	51
8. Závěr	60
9. Použitá literatura	61

Seznam použitých zkratk a symbolů

$d_s, d_{1,2}$	průměr svaru	[mm]
d_E	průměr elektrody	[mm]
P_s, F	přítláčná síla	[N]
t_l, t_u	tloušťka materiálu	[mm]
p_b, p_u	průvar svarové čočky	[mm]
d_{el}, d_{eu}	průměry vtisku elektrod	[mm]
d_n	průměr čočky	[mm]
e_b, e_u	hloubka vtisku elektrody	[mm]
x	mezera mezi plechy	[mm]
a	místo měření mezery	[mm]
d_{HAZ}	průměr tepelně ovlivněné oblasti	[mm]
p_{HAZb}, p_{HAZu}	průnik tepelně ovlivněné oblasti	[mm]
Q	celkové množství tepla	[J]
R_c	celkový elektrický odpor	[Ω]
R_d, R_0	přechodové odpory	[Ω]
I	svařovací proud	[A]
$t_{svař}, t_s$	svařovací čas	[s]
T	teplota	[K]
t	čas	[s]
a	součinitel teplotní vodivosti	[m ² .s ⁻¹]
q_v	intenzita objemového zdroje tepla	[J.m ⁻³ .s ⁻¹]
r	poloměr elektrody	[mm]
c	měrné teplo	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
ρ	hustota	[kg.m ⁻³]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
R_e	mez kluzu	[MPa]
A	tažnost	[%]
d_2	průměr pracovní plochy elektrody	[mm]
d_3	vnitřní průměr elektrodové čepičky	[mm]
l_1	výška elektrodové čepičky	[mm]
l_2	hloubka dutiny elektrodové čepičky	[mm]
$R_{1,2}$	poloměry, popisující tvar elektrodové čepičky	[mm]

α	úhel zkosení elektrodové čepičky	[°]
U	napětí	[V]
U_{\min}	minimální hodnota napětí v měřeném cyklu	[V]
U_i	poslední hodnota napětí v měřeném cyklu	[V]
t_a	první časová hodnota, která je určena U_{\min}	[s]
t_b	poslední časová hodnota, která je určena U_i	[s]
Δt	rozdíl dvou časů \approx konstanta	[s]
SU	plošný parametr napětí	[V·s]
SR	plošný parametr odporu	[Ω·s]

1.0 Úvod

Odporové bodové svařování je díky své vysoké efektivitě a širokému využití jednou z nejpoužívanějších technologií pro spojení strojních částí i celých konstrukcí. Jde v podstatě o nenahraditelnou technologii. Velké využití této metody je v posledních letech především v automobilovém průmyslu, ve výrobě motocyklů, v leteckém průmyslu, ve stavebnictví například armatury a další. Při výrobě automobilů se také začaly touto technologií svařovat vysokopevnostní ocelové plechy, které plní svůj význam především v nárazových zónách karosérie automobilu. Jako další se v posledních letech používají materiály s povrchovou úpravou a to především plechy pozinkované a pohliníkové, které lépe odolávají působení vnějším vlivům. Tyto kvalitní materiály se ale dostávají i do dalších strojírenských odvětví. Charakteristickými vlastnostmi těchto ocelí, mimo vysokých hodnot pevnosti, jsou i vysoké hodnoty jejich houževnatosti a relativně dobrá dílenská obrobiteľnosť a také svařitelnost. V dalším textu je v části 2.1 Tab. 2, z které lze porovnat význam jednotlivých technologií svařování při výrobě karosérií osobních automobilů ŠKODA.

Z určitých hledisek může být nevýhodou technologie bodového svařování nerozebíratelnost spoje, vznik vnitřního pnutí a deformací, a v neposlední řadě i potřeba kvalifikovaných dělníků a operátorů. Pro zajištění procesu zhotovování kvalitních bodových svarů je nutno stanovit a kvalifikovat postup svařování, zejména určit vhodné svařovací parametry. Tyto parametry se však v průběhu opakování svařovacího cyklu mění a to především v závislosti na opotřebení elektrod.

Tato diplomová práce navazuje na výzkumné práce realizované na katedře tváření a plastů TUL a některých diplomových prací [2, 3, 7], které se zabývaly monitorováním základních elektrických i mechanických veličin svařovacího procesu u bodového odporového svařování plechů s povlaky a plechů vysokopevnostních. Práce je zaměřena na sledování vlivu opotřebení elektrod na průběh vybraných veličin svařovacího procesu a výslednou kvalitu svarů při svařování ocelového plechu s povlakem na bázi slitiny Al-Si. Hlavním cílem práce bylo vypracovat postup zpracování naměřených dat okamžitě po provedení svaru a umožnit tak korekci v nastavení svařovacích parametrů před vytvořením následujícího svaru.

2.0 Odporové svařování

Odporové svařování je tlakové svařování, při kterém se nezbytné teplo ke svařování vytváří vlivem odporu, průchodem elektrického proudu oblastí požadovaného spojení. Tato definice je stanovena normou ČSN EN 14610 [19]. Tato norma je českou verzí evropské normy EN 14610.

V první řadě je nutno říci, které materiály lze touto metodou svařovat. Jsou to takové, které v určitém teplotním rozsahu procházejí plastickým, tvárným stavem. Svařování odporem se používá v kusové i sériové výrobě. Velkou výhodou je jeho snadná mechanizace a automatizace. Zkušenosti ukázaly, že u těchto technologií svařování lze dosáhnout velkých úspor, a to především materiálových a časových.

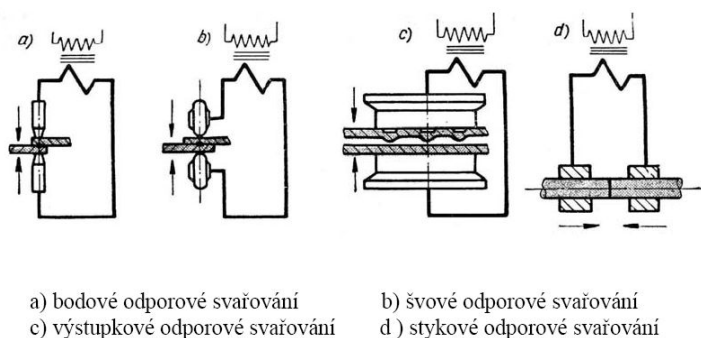
Základní rozdělení metod odporového svařování je provedeno dle normy ČSN EN ISO 4063 Svařování a příbuzné procesy - Přehled metod a jejich číslování [17]. Tato norma je českou verzí evropské normy EN ISO 4063 a stanovuje přehled metod svařování, příbuzných metod a jejich číselné značení.

Tab. 1: Přehled metod odporového svařování a jejich číslování [17].

Číslo metody	Český název	Anglický název
2	Odporové svařování	Resistance welding
21	Bodové odporové svařování	Spot welding
211	Nepřímé bodové svařování	Indirect spot welding
212	Přímé bodové svařování	Direct spot welding
22	Švové odporové svařování	Seam welding
221	Švové svařování s přeplátováním	Lap seam welding
222	Švové svařování s rozválcováním	Mash seam welding
225	Stykové švové svařování s páskem	Foil butt-seam welding
226	Přeplátované švové svařování s páskem	Seam welding with strip
23	Výstupkové svařování	Projection welding
231	Nepřímé výstupkové svařování	Indirect projection welding
232	Přímé výstupkové svařování	Direct projection welding
24	Odtavovací stykové svařování	Flash welding
241	Odtavovací stykové svařování s předehřevem	Flash welding with preheating
242	Odtavovací stykové svařování bez předehřevu	Flash welding without preheating
25	Stlačovací stykové svařování	Resistance butt welding
291	Vysokofrekvenční odporové svařování	HF resistance welding (high frequency)

Svařování lze rozdělit v souladu s obr. 1 do dvou kategorií podle způsobu umístění spojovaných dílů:

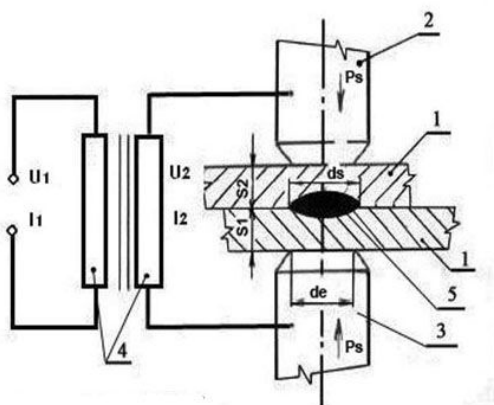
- 1) Svařování s přeplátováním (obr. 1a,1b,1c): dále dělíme na svařování bodové, švové a výstupkové. Svařování s přeplátováním je ideální pro svařování tenkých plechů.
- 2) Svařování stykové (obr. 1d): rozdělujeme dále na svařování stykové stlačením a svařování stykové odtavením. Toto svařování se používá například na svařování tyčí nebo profilů.



Obr. 1: Základní metody odporového svařování [4]

2.1 Bodové svařování

Bodové svařování je technologie, při které se svařují především plechy. Schéma odporového bodového svařování je na obr. 2.



Obr. 2: Bodové odporové svařování [6]

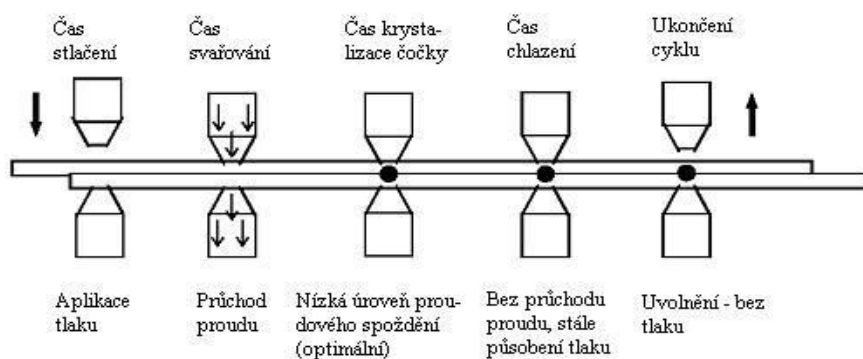
- 1 – svařované součásti, 2 – pohyblivá elektroda, 3 – pevná elektroda,
- 4 – svařovací transformátor, 5 – svar,
- d_s – průměr svaru, d_e – průměr elektrody, P_s – přítlačná síla

Jde o odporové svařování, při kterém se svar ve tvaru čochy zhotoví na přeplátovaných dílech mezi bodovacími svařovacími elektrodami, přičemž svar má přibližně stejnou plochu jako špička elektrody.

Síla působí na svar nepřetržitě po celou dobu procesu. Elektrody jsou většinou z mědi nebo ze slitin podobných vlastností a jsou uvnitř chlazeny vodou. Tím je dosaženo jemné krystalizace ve svaru a lepších mechanických vlastností. K časovému omezování proudů se používá elektromagnetických stykačů od 0,02s do 0,1s nebo v poslední době rozšířených elektronických prvků.

Na začátku je třeba nastavit svařovací parametry (proud, čas a tlak elektrod). Jedním z projevů správně nastavených parametrů je dosažení tzv. tepelné rovnováhy, která vede k vytvoření symetrického tvaru vznikajících svarů [6]. S těmito parametry je také úzce spojeno opotřebení elektrod, které má velký vliv na kvalitu bodového svaru.

Průběh cyklu zhotovení bodového svaru je na obr. 3. Samotný děj začíná tím, že se svařovaný materiál přiloží mezi 2 elektrody na nepohyblivou (zpravidla spodní v horizontálním provedení) elektrodu v požadovaném místě spoje. Nejčastěji se spojují plechy přeplátováním.



Obr. 3: Etapy při bodovém odporovém svařování [7]

Svařovací cyklus může být při bodovém svařování buď s jednoduchým průběhem, nebo programový.

Jednoduchý průběh se používá většinou u ocelí menších tloušťek. Dva přeplátované plechy se přiloží na statickou elektrodu. Po sepnutí spínače začnou proti sobě elektrody působit nastavenou silou, díky které dojde k dokonalému

přiblížení přiléhajících ploch materiálu. Na elektrody se přivede elektrický proud ze sekundárního vinutí. Vlivem specifického odporu svařovaného materiálu a přechodového odporu v místě spoje i mezi elektrodami dojde k intenzivnímu vývoji tepla. Měrný elektrický odpor materiálu se postupně zvyšuje s rostoucí teplotou a původně plošný zdroj tepla se postupně mění na objemový. První fáze trvá u oceli s nízkým obsahem uhlíku do 10 % z celkového svařovacího času. Tato první fáze je rozhodující pro vytvoření objemového zdroje tepla [2, 3, 6].

Ve druhé fázi svařovacího cyklu pokračuje vývin tepla i po zániku přechodových odporů. Místo svaru se odporovým teplem stane tvárným nebo dojde k částečnému natavení (v závislosti na čase), následně dojde k vykrystalizování svarové čočky a po vzájemném stlačení dojde ke spojení. Tyto přechodové odpory zaniknou vlivem působení přitlačné síly svařovacích elektrod. Přechodové odpory mezi svařovacími elektrodami se snažíme eliminovat hlavně použitým materiálem elektrod, kvalitou ofrézované dotykové plochy elektrody a dostatečným chlazením elektrod [2].

Programový cyklus je poněkud složitější a používá se při svařování ocelových plechů větších tloušťek nebo při svařování legovaných ocelí. Proces začíná dosednutím elektrod a po dosažení plného tlaku zapnutím proudu, který je nižší než svařovací proud. V této fázi se materiál dostane do tvárného stavu a dojde k dokonalému přiblížení svařovaných částí. Následuje nárůst proudu na plnou hodnotu a k poklesu tlaku elektrod za účelem zvýšení přechodového odporu a tím k urychlení svařovacího procesu. Po vytvoření svaru stoupne tlak opět na plnou hodnotu a za sníženého proudu dojde k žhání. Za stálého tlaku při nulovém proudu dochází k odvodu tepla z místa svaru za účelem lepších vlastností vytvořeného spoje a k urychlení dokončení procesu [6].

Tento cyklus je variabilní a jeho průběh se přizpůsobuje daným podmínkám (druh a složení materiálu, povrch, tloušťka a další). Nastavení tohoto průběhu má zásadní vliv na postupný vznik svarové čočky, metalurgické změny a s tím spojené vlastnosti bodového svaru.

Každá bodová odporová svářečka má dvě části: elektrickou a mechanickou. Svařovací elektrody, sekundární obvod a vinutí transformátoru jsou převážně z mědi nebo materiálů s většinovým podílem mědi, která je nejvhodnějším materiálem. Svařovací proud prochází mědí bez velkých ztrát při minimálním odporu. Pohon na vyvinutí tlaku elektrod bývá pneumatický, motorický nebo hydraulický.

Podle použití se bodové svařovací stroje dělí na stabilní, závěsné a speciální. Závěsné bodovky se používají ke svařování velkých a objemových plechových výrobků, které nelze mechanicky dostat do polohy, kterou vyžaduje stabilní odporová svářečka. Příkladem je svařování vagónů nebo karosérií automobilů. Tento typ svařovacích strojů je však z velké míry nahrazen roboty se svařovacími bodovacími čelistmi, které zaujímají většinový podíl především v automobilovém průmyslu. Mezi speciální bodovky se řadí dvoubodovky a mnohobodovky. Využití těchto strojů je při zhotovování velkého počtu spojů na jednom dílci například u svařování karosérií, dveří automobilů a dalších částí.

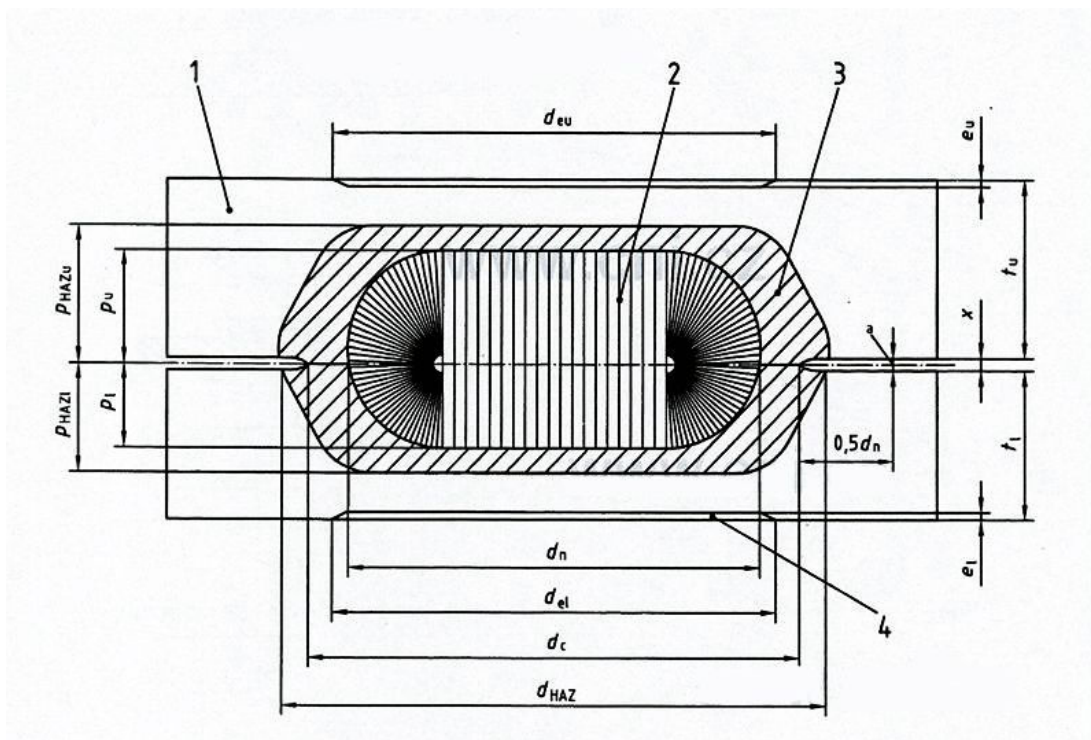
Bodové svařování má i při nástupu jiných metod spojování plechů v automobilovém průmyslu nezastupitelnou roli. V Tab. 2 je porovnání jednotlivých technologií aplikovaných při výrobě karosérií u automobilů ŠKODA.

Tab. 2: Množství a druh svarů na jednotlivých modelech automobilů Škoda [13]

Metoda svařování	Množství	Octavia	Fabia	Superb	Octavia II	Roomster
Bodové svary	ks	4400	4500	6201	5000	5217
MIG pájení	m	-	4,0	7,4	2,5	2,0
MAG svařování	m	5,5	1,0	1,2	2,5	7,5
Přivaření svorníků	ks	190	160	214	200	161
Výstupkové svařování	ks	25	46	147	31	34
Laserové pájení	m	-	1,0	1,03	1,6	1,2
Laserové svařování	m	-	-	3,06	0,5	-

2.1.1 Geometrie bodového svaru

Bodově svařený spoj se vyznačuje souborem užitečných vlastností a charakteristik, které se podle požadavků na kvalitu spoje posuzují měřitelnými veličinami [2]. Mezinárodní norma ČSN EN ISO 14329 [32] stanovuje definice geometrických měření (obr. 4) a typů lomů, které jsou používány v souvislosti se zkoušením odporových bodových, švových a výstupkových svarů, u kterých rozdílné zátěžové konfigurace jsou příčinou rozdílného rozložení napětí ve svaru.



Obr. 4: Geometrie bodového svaru [32]

t_l, t_u – tloušťka materiálu

p_b, p_u – průvar svarové čocky

d_{el}, d_{eu} – průměry vtisku elektrod

d_n – průměr čocky

e_b, e_u – hloubka vtisku elektrody

x – mezera mezi plechy (a – místo měření mezery),

d_{HAZ} – průměr tepelně ovlivněné oblasti

p_{HAZb}, p_{HAZu} – průnik tepelně ovlivněné oblasti

1 – základní materiál,

2 – svarová čocka,

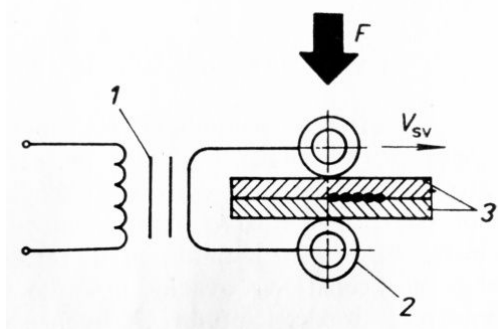
3 – tepelně ovlivněná oblast,

4 – vtisk elektrody.

2.2 Švové svařování

Způsob vytváření svarové čocky je u švového svařování (obr. 5) obdobný jako u bodového. Elektrody však mají tvar kotoučů, které se při průběhu svařovacího procesu otáčejí a tlačí mezi sebou svařované plechy. Vytváří se tak řada bodů, buď jednotlivých, nebo vzájemně překrytých, což se řídí rychlostí svařování, výkonem a

délkou doby, kdy neprochází elektrodami svařovací proud [6]. Touto metodou se často svařují např. některé druhy radiátorů nebo plechové obaly.

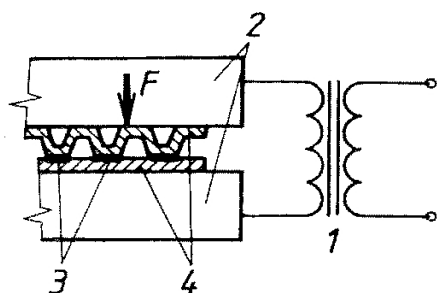


Obr. 5: Princip švového svařování [6]

- 1 – svařovací transformátor,
- 2 – svařovací kladky,
- 3 – svařované materiály.

2.3 Výstupkové svařování

Tato metoda odporového svařování (obr. 6) patří mezi ty nejproduktivnější. Můžeme totiž svařovat několik kontaktních míst současně. Na svařovaném plechu jsou např. lisováním zhotoveny kruhové nebo podélné výstupky v místech, kde požadujeme vytvoření spoje. V těchto výstupcích dochází ke koncentraci svařovacího proudu a tlaku. Stroje pro tento způsob se nazývají svařovací lisы a pracují automaticky podle předem nastaveného programu. Nejčastěji se touto metodou svařují oceli nelegované a legované. Z konstrukčních prvků např. spoje plechů se šrouby, maticemi, dále křížové spoje, čepy, švy potrubí, vačky, pletivo a další.



Obr. 6: Výstupkové svařování [1]

- 1 – svařovací transformátor (zdroj energie)
- 2 – elektrody
- 3 – svar
- 4 – svařované součásti

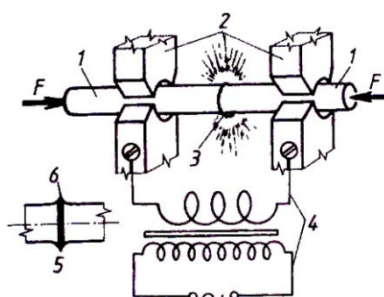
2.4 Stykové odporové svařování

Používají se dva druhy technologických postupů: Stykové svařování stlačením a stykové svařování odtavením.

Stykové svařování stlačením probíhá tak, že se k sobě dva díly (zpravidla tyčového profilu) přitlačí silou, aby došlo k potřebnému přitlačení svařovaných

materiálů. Po dosažení přitlačného tlaku začne procházet svařovací proud a místo dotyku se začne ohřívat, než dosáhne svařovací teploty. Teplota svařování touto metodou nedosahuje teploty tavení. Stlačením vznikne požadovaný svarový spoj [2]. Záleží zde na jakosti obrobení čelních ploch částí, které se svařují, a na teplotě a tlaku, kterým jsou ohřáté části k sobě sraženy. K dobře přiléhajícím plochám se po stlačení dostává kyslík obtížně a nehrozí tedy vznik lidských vměstků, které by mohly způsobit křehkost svaru.

Výhodou druhé metody svařování je, že svařované plochy nemusí být zcela čisté a opracované (obr. 7). Nerovnosti se odstraní odtavením. Po přiblížení obou částí na nepatrnou vzdálenost začne mezi nimi procházet elektrický proud, který vyvolá jiskření. Po zažehnutí oblouku nastává vlastní odtavení za doprovodu jiskření. Materiály je nutno k sobě ještě dotlačit pýchovací silou, aby se odstranily nečistoty v místě nově vzniklého spoje a vytvořil se charakteristický otřep. Svar má velmi dobrou jakost a používá se například při svařování drátů nebo různých profilů.



Obr. 7: Stykové svařování s odtavením [1]

- 1 – svařovaný materiál
- 2 – čelisti
- 3 – styková plocha
- 4 – svařovací transformátor
- 5 – stav po svaření
- 6 – otřep

2.5 Elektrody pro odporové bodové svařování

Elektroda a její pracovní plocha je jednou z nezátěžovanějších částí celé soustavy. Působí na ní celá řada zatěžujících faktorů současně a na základně momentálního stavu této plochy se odvíjí kvalita bodového svaru. Elektrody odporových svařovacích strojů jsou součástí sekundárního vinutí a mají za úkol přenášet tlak, proud a odvádět teplo. Při tom mají jejich mechanické, elektrické, tepelné, chemické a jiné hodnoty zůstat konstantní [5].

Existují různé druhy jak elektrod (obr. 8, 9), tak špiček elektrod. Často se elektrody vyrábějí přímo na míru dle tvaru svařované součásti. Volba průměru

pracovní plochy se stanoví v závislosti na tloušťce plechu, složení materiálu, případně podle povrchové úpravy plechu.

Zatím neoptimálnější vlastnosti pro tento účel vykazuje slitina mědi s prvky, jako je chrom, zirkon, nikl, hliník wolfram apod. Samotná měď má sice výbornou vodivost, ale je poměrně měkká. Proto je zpracovávána za studena a tím její pevnost stoupne, současně však poněkud poklesne vodivost.

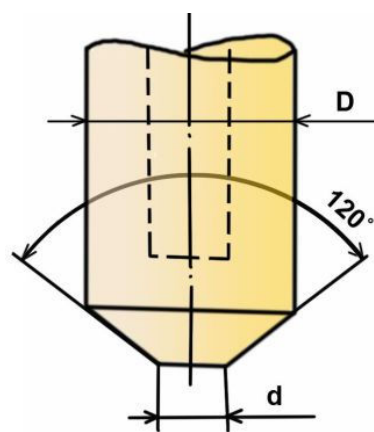
Typ elektrody se volí na základě způsobu svařování, na druhu a jakosti povrchu materiálu, který se má svařovat. Za studena zpracované mědi se používají hlavně pro výrobu elektrod na bodové a švové svařování hliníku a jeho slitin, slitina mědi s kadmíem je vhodná pro bodové a švové svařování tenkých ocelových plechů, slitiny mědi s kobaltem se využívá při svařování nerez a jiných legovaných ocelí, atd [5].

Podle RWMA (Resistance Welder Manufacturers Association) se elektrodové materiály dělí do tří skupin, které se dále dělí do tříd. Čím vyšší je číslo třídy, tím nižší je obsah mědi a s tím spojená vodivost elektrody. Vyrůstá však odolnost vůči opotřebení a pevnost při vysokých teplotách.

- skupina A – slitiny na bázi mědi
- skupina B – žáruvzdorné kovy
- skupina C – speciální materiály



Obr. 8: Elektrody pro bodové svařování dílů [15]



Obr. 9: Základní tvar elektrody

d – průměr pracovní plochy [mm]

D – průměr elektrody [mm]

Na elektrody se v provozu kladou různé, často i protichůdně působící požadavky. V práci[5] jsou uvedeny následující základní požadavky:

- a) Velká mechanická pevnost i při zvýšené teplotě, aby nenastala deformace elektrody a byla zaručena stálost pracovní plochy, minimální opotřebení a tedy dlouhá životnost;
- b) Dobrá elektrická vodivost, to jest malý elektrický odpor, aby ztráty na elektrické energii a tepelné zatěžování bylo malé;
- c) Dobrá tepelná vodivost a stálost, aby byl odvod tepla od vzniklého svaru rychlý a aby se teplota elektrody blížila teplotě chladicího média;
- d) Nízkou difúzi, respektive minimální připekavost;
- e) Nízké výrobní, resp. pořizovací náklady.

2.5.1 Životnost elektrod

Způsobem hodnocení opotřebení elektrod u bodového odporového svařování se zabývá norma ČSN EN ISO 8166 [18]. Tato norma popisuje všeobecně použitelný zkušební postup, který dovoluje hodnocení vlivu svařovaného materiálu dosaženou životností elektrod při použití přesně definovaných svařovacích podmínek nebo uspořádání elektrod.

V průběhu děje svařování dochází k různým změnám v elektrodě, jsou to především mechanické, metalurgické a elektrické. Tyto změny jsou pro nás nežádoucí a snažíme se o jejich eliminaci. Faktory určující životnost elektrod jsou podle [3]:

- výrobce materiálu elektrod a výrobce elektrod;
- výrobce svařovacího stroje (statické, dynamické a mechanické strojové vlastnosti svařovacího zařízení);
- uživatel elektrody;
- svařovací parametry.

Specifikovaný postup umožňuje určovat životnost bodových svarových elektrod, to je počet přijatelných bodových svarů, které mohou být provedeny mezi potřebou úpravy elektrody. Zkušební postup může být použit k vyhodnocení následujících údajů [18]:

- a) vliv materiálu elektrod nebo tvaru a rozměrů elektrod na životnost elektrod při svařování určeného materiálu;

- b) vliv svařovaného materiálu na dosaženou životnost elektrod při použití konstantního tvaru a rozměrů elektrod;
- c) vliv svařovacích podmínek na životnost elektrod při použití dané kombinace materiálu a tvaru elektrod pro svařování jakéhokoliv druhu materiálu;
- d) vliv typu svařovacího stroje a chlazení elektrod na životnost elektrod.

Podrobněji se metodice hodnocení životnosti elektrod budu věnovat v souvislosti s provedeným experimentem.

3. Parametry bodového svařování

Mezi svařovací parametry řadíme všechny proměnlivé veličiny, které je potřebné nastavit tak, aby se zhotovil svar [33].

Mezi základní parametry řadíme:

- 1) svařovací proud I [kA];
- 2) svařovací čas t [ms];
- 3) sílu mezi elektrodami F [N].

Kvalita bodového svaru je závislá na použitých svařovacích parametrech a na celé řadě rušivých vlivů působících nahodile (např. změny síťového napětí, změny v kvalitě výchozího materiálu, změny vzdáleností svarů a vzdálenosti svaru od okraje plechu atd.) nebo soustavně (např. rostoucí opotřebení elektrod).

Komplexní působení svařovacích parametrů a rušivých vlivů na výslednou kvalitu svarů, znemožňuje získávat svarové spoje v libovolně úzkém, předem stanoveném tolerančním pásmu kvality. Působením rušivých vlivů může u jednotlivých svarů dojít k nepřijatelnému zhoršení kvality, i když nastavené svařovací parametry dávají předpoklad pro vytvoření kvalitních svarů. K zajištění rovnoměrné kvality bodových svarů se stále častěji aplikují systémy automatického sledování a řízení jakosti, které mohou do různé míry eliminovat negativně působící rušivé vlivy. Při svařování ocelových plechů s kovovými povlaky je nasazení monitorovacích a korekčních systémů předpokladem pro zajištění rovnoměrné kvality svarů a pro dosažení životnosti elektrod přijatelné z technologických i ekonomických hledisek [3].

V současné době se svařovací parametry volí na základě doporučení (např. dokumenty IIW), které vznikly na základě experimentálních pokusů a zkoušek.

Mezi další faktory, ovlivňující výslednou kvalitu svaru řadíme: průměr elektrody, tloušťku svařovaných plechů, plochu dosedací části elektrody, minimální velikost překlátování, minimální pevnost svaru a další.

Svařovací čas a proud ovlivňují elektrické, tepelné a také metalurgické namáhání elektrody. Svařovací síla, tlumení dosedu elektrod a doba dotlaku, ovlivňují především mechanické namáhání. Pro uživatele elektrodových materiálů je znalost dílčích faktorů, kterými může ovlivňovat životnost elektrod, z technologického i technicko-ekonomického hlediska, velmi důležitá. Stanovení těchto parametrů je jedním z cílů této práce.

Tab. 3: Příklad hodnot parametrů při bodovém svařování [8].

Materiál	Šířka plechu h (mm)	Síla F (kN)	Proud I (kA)	Čas t (per.)	Průměr elektr. d (mm)	Šířka překlát. l (mm)	Min. Ø svaru d _z (mm)
Nízkouhlíkové oceli	0,5	1,5	7	3	4	11	3,5
	1,0	2,5	9	6	6	13	5,0
	2,0	5,0	14	15	7	18	6,5
Nerez oceli	0,5	1,8	4	4	4	11	3,5
	1,0	4,0	8	7	5	13	5,0
	2,0	9,0	14	13	7	18	6,5
Vytvrditelné Al-slitiny	0,5	2/4	30	2		11	3,5
	1,0	4/8	45	4		13	5,0
	2,0	8/18	65	9		18	6,5
		Pozn. 1			Pozn. 2		

Poznámka 1: U vytvrditelných Al-slitin jde o svářecí a kovací síly.

Poznámka 2: Používají se sférické a pracovní plochy (R - 100 až 200 mm).

Z tabulky je vidět, že v porovnání s ocelí je pro hliník potřebná větší svařovací síla. Ta musí zabezpečit dobrý elektrický kontakt, neboť se tu vyžaduje velký elektrický proud (zvláště při tvrdém režimu). Při svařování antikorozních ocelí je na vytvoření dobrého kontaktu (i při malých proudech) potřebná velká síla, protože ocel má vysokou mez kluzu a pevnosti [8].

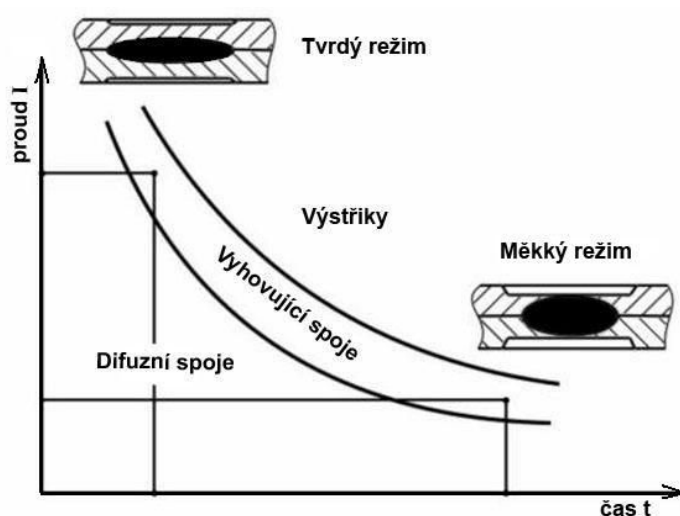
Způsob svařování lze rozdělit do dvou skupin podle způsobu nastavení svařovacích parametrů a to na měkký a tvrdý svařovací režim (viz také obr. 10):

a) Měkký svařovací režim [4]

- za působení nižšího svařovacího proudu a tlaku
- za působení delšího svařovacího času
- tato metoda má však spoustu nevýhod, jak vyšší spotřebu energie, výrazně delší dobu na zhotovení svaru, vzhledem k prohřátí materiálu zanechávají elektrody v povrchu vtisky, pevnost takového svaru není taková, jako při tvrdém režimu, vzniká pnutí a deformace a životnost elektrod je nízká.

b) Tvrdý svařovací režim [4]

- vyšší svařovací proud a tlak, řádově kratší svařovací časy
- vysoká produktivita, elektrody nejsou tak tepelně namáhány a vydrží proto více svarů, krátkodobé působení svařovací teploty, tepelně ovlivněná oblast není tak velká, vzniká jemnozrnná struktura, rychlé chladnutí, svar je kvalitnější.



Obr. 10: Oblast měkkého a tvrdého svařovacího režimu u bodového svařování [8]

Svařovací proud je základním parametrem. Rozsah zkratového proudu bývá u bodového svařování nejčastěji mezi 5 až 40kA, v závislosti na tloušťce a materiálu svařovaných dílů. Velikost proudové hustoty má přímý vliv na vznik tepla uvnitř svaru a je třeba jej držet v určitých mezích, které zaručí správnou velikost svarové čočky. Při nízkém průtoku proudu je riziko, že dojde pouze k difuznímu spojení a naopak při nadměrném působení elektrického proudu může docházet ke hlubokým

vtiskům elektrody, rozstříkům svarové lázně nebo dokonce k propálení svařovaného materiálu a k jeho znehodnocení.

Vznikající teplo v procesu svařování lze určit pomocí Joule-Lenzovým zákonem v integrálním tvaru [2]:

$$Q = \int_0^{t_{svař}} R_c(t) \cdot I^2(t) \cdot dt_{svař} \quad (1)$$

Q – celkové množství tepla [J]

R_c – celkový elektrický odpor [Ω]

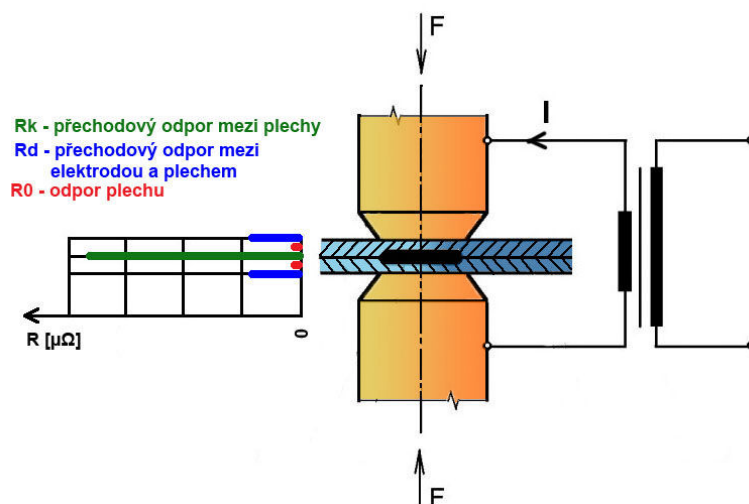
I – svařovací proud [A]

$t_{svař}$ – svařovací čas [s]

Celkový okamžitý odpor R_c je složen z dílčích částí, které závisí na měrném odporu materiálů a na stavu povrchu elektrod i plechů. Rozložení odporů v okamžiku startu procesu je na obr. 11. Největší přechodový odpor je obvykle mezi svařovanými plechy, který označíme R_k . Díky tomuto odporu vzniká mezi svařovaným materiálem potřebné teplo ke vzniku bodového svaru. Další přechodový odpory R_d vznikají v ploše styku elektrod se svařovanými plechy. Tento odpor se snažíme eliminovat například materiálem elektrod a jejich chlazením. Přechodový odpor rychlým ohřevem zaniká a teplo se udržuje pomocí objemového zdroje tepla tvořeného vlastním odporem zahřátého materiálu. Další odpory, vznikají samotným průchodem elektrického proudu plechem R_0 a je třeba brát v potaz, že i samotné elektrody kladou určitý odpor.

Každý z těchto odporů je funkcí teploty a hodnota přechodových odporů závisí výrazně na kvalitě povrchu plechů a elektrody (omačkání, nerovný povrch, znečištění a oxidace elektrody vede k zvýšení odporu, koncentraci a zvýšení teploty v místě styku, a tím ke vzniku nežádoucích otlaků průměru elektrody na povrchu svařovaného materiálu) a na tlaku mezi elektrodami.

V dalším průběhu svařovacího procesu se jednotlivé části odporu výrazně mění a mění se i celkový odpor. Průběh odporu v průběhu svařovacího procesu se výrazně liší pro různé materiály. Na obr. 12 je porovnání průběhů odporu pro dva typy ocelí a hliník.



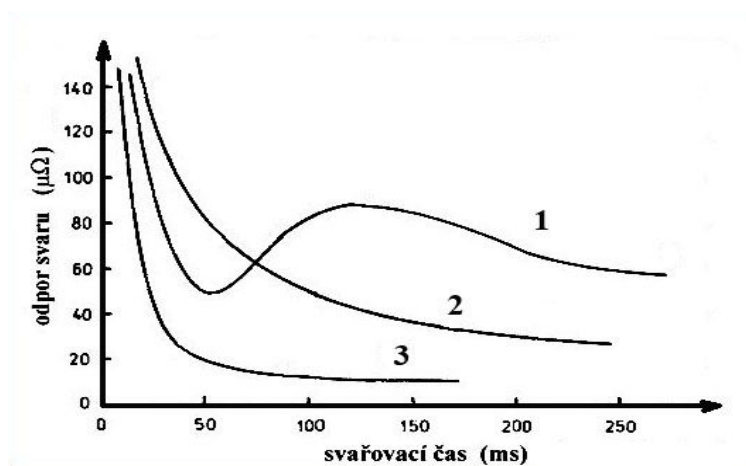
Obr. 11: Poměr odporů na začátku svařovacího cyklu při odporovém svařování [6]

F – přitlačná síla [N], I – svařovací proud [A]

$$R_c = 2R_d + 2R_0 + R_k \quad (2)$$

R_c – pracovní odpor (celkový) [Ω]

R_d, R_0 – přechodové odpory [Ω]



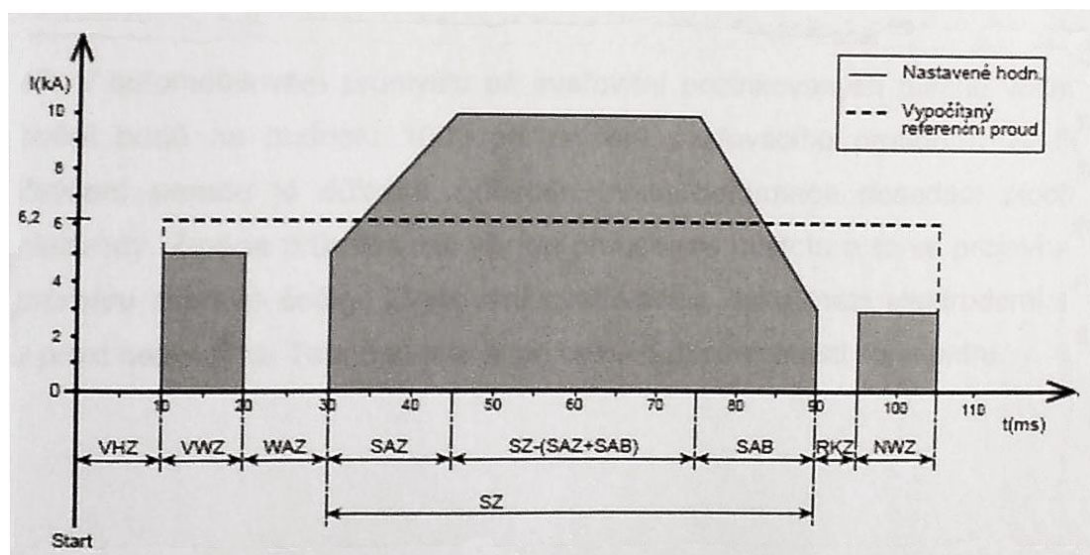
Obr. 12: Průběh odporu při bodovém svařování [6]

- 1 – nelegovaná nízkouhlíkatá ocel;
- 2 – chromniklová korozivzdorná ocel;
- 3 – hliník.

Svařovací čas lze definovat podle [9] jako časový interval, kdy materiálem prochází svařovací proud. Tj. začátkem prvního a ukončením posledního pulsu včetně součtu časů přerušení proudu. Svařovací čas se měří v sekundách [s], výhodnější je však měřit svařovací čas v periodách síťového kmitočtu. V ČR je frekvence sítě 50 Hz což je 0,02s na jednu periodu.

Časový interval, po který se tvoří svarový spoj, je zpravidla velice krátký. Celkový svařovací čas se zpravidla pohybuje v rozmezí 0,03 až 1 [s]. Nastavení správné délky času je důležité, poněvadž se jedná o jeden z faktorů, kterým lze regulovat vznikající teplo uvnitř svaru. Pokud by byl čas příliš krátký, nedošlo by k natavení svarové hmoty, ale pouze k difuznímu spoji. Naopak při příliš dlouhém svařovacím čase by mohlo docházet k nadměrnému protavení základního materiálu, ke vzniku hlubokých vtisků nebo k výstřikům roztaveného kovu.

Současné moderní elektronické systémy umožňují nastavení různých svařovacích časů – obr. 13. Svařovací časy lze rozdělit na: doba náběhu, vlastní svařovací čas, doba přestávky mezi jednotlivými pulsy, doba poklesu svařovacího proudu a doba dotlaku svařovacích elektrod [2].



Obr. 13: Svařovací program s jedním impulsem [2]

Svařovací síla elektrod je třetí rozhodující parametr svařování. Při návrhu svařovacího tlaku je nutno volit jeho velikost tak, aby se při případných menších nerovnostech plechů tlakem zajistilo jejich správné dosednutí v místě budoucího

svaru, a aby byl zaručen dokonalý průchod svařovacího proudu. Při příliš malém svařovacím tlaku dojde k zvětšení přechodového odporu mezi svařovaným materiálem a elektrodami, což vede k většímu ohřevu v těchto místech, k hlubším vtiskům, k přilepování elektrod k plechům a tím k rychlejšímu opotřebení elektrod. Nadměrný tlak má za následek snížení povrchového odporu a to bývá také příčina špatné kvality svarů. Dochází k nadměrnému opotřebení špičky resp. k zvětšení pracovní plochy elektrody.

Svařovací tlak závisí také na kvalitě povrchu svařovaných materiálů a svařovacím času. Volba velikosti svařovaného proudu závisí na tloušťce spojovaných materiálů, stavu jejich povrchu, elektrickém odporu materiálu, svařovacím tlaku a času, vyložení ramen svařovacího stroje, čím je větší vyložení a rozevření ramen, tím vznikají větší elektrické ztráty a musí se zvýšit velikost svařovacího proudu [6].

Svařovací síla u pneumatického systému se mezi elektrodami reguluje proporcionálním ventilem. Je možné zadávat přímo napětíovou hodnotu nebo požadovanou sílu v jednotkách [N]. V druhém případě je nutno provést kalibraci proporcionálního ventilu, aby požadované hodnoty odpovídaly skutečnému tlaku mezi elektrodami. U servomotorických kleští je síla vyvozena servomotorem a celý proces je obsluhován samostatným řízením a speciálním softwarem dodaným od výrobce. Ve většině případu se provede kalibrace přítlačného systému a potom se již zadávají požadované hodnoty přítlačné síly F [N] [2].

3.1 Měřitelné veličiny svařovacího procesu

Měřitelné veličiny, tzv. parametry procesu, lze rozdělit do tří skupin. Pro případ odporového svařování se rozlišují [11]:

- a) Přímé parametry svaru: jsou to veličiny, popisující vlastnosti hotového svaru tj. jeho geometrii, pevnost, tvrdost, výskyt trhlin, porozitu apod. Přímé parametry určují kvalitu svaru.
- b) Nepřímé parametry svaru: zahrnují konvenční svařovací parametry, jako jsou svařovací proud, svařovací čas, svařovací síla, materiál a geometrie elektrod, teplota a průtok chladicí vody apod.
- c) Přechodné nepřímé parametry svaru: představují obecně reakci systému na průběh svařovacího procesu a jsou zdrojem informací o tvorbě svaru. Jedná

se např. o rozměry natavení oblasti, útlum ultrazvukového signálu procházejícího svarem, infračervené záření svaru, akustická emise svaru, teplota v různých místech spoje apod.

Veličiny, které jsou zdrojem informací o vytváření svarového spoje, se podle charakteru rozdělují na mechanické a fyzikální (elektrické a ostatní fyzikální). V souladu s tímto členěním je účelné rozdělit systémy sledování a řízení bodového odporového svařování na:

1. Systémy využívající měření a vyhodnocování mechanických veličin a neelektrických fyzikálních veličin.
2. Systémy využívající měření a vyhodnocování elektrických veličin.
3. Systémy využívající různé kombinace elektrických a neelektrických veličin a systémy využívající statistické modely.

3.1.1 Elektrické veličiny

Mezi elektrické veličiny u bodového svařování patří svařovací proud, napětí mezi elektrodami, odpor svaru, výkon, různé kombinace uvedených veličin a jejich integrály v čase. Sledování těchto veličin je již dnes součástí elektronického systému každé odporové svářečky. Elektronická regulace umožňuje měnit velikost proudu a svařovací čas. Svařovací proud se zvyšuje nebo snižuje podle hodnoty integrálu napětí předchozího svaru automaticky o předem nastavený krok [3].

3.1.2 Mechanické veličiny

V důsledku působení tepla dochází k ohřevu materiálu, což vede ke změně objemu resp. k tepelné expanzi. Tato změna způsobuje relativní pohyb elektrod, který lze měřit. Relativní pohyb elektrod se ve skutečnosti skládá z vlastní tepelné expanze svaru (s rostoucí teplotou roste) a ze zatlačování elektrod do ohřátého svařovaného materiálu [3].

3.2 Kvalita bodových svarů

Kvalitu svarových spojů je nutno posuzovat komplexně v souladu s požadovanými vlastnostmi svarků. Pro hodnocení kvality se musí stanovit vhodná kritéria a pro jejich zjištění vhodné metodické postupy. Kritéria kvality svarových spojů mají umožnit jejich jednoznačnou klasifikaci na vyhovující a nevyhovující.

V podstatě není žádný kovový materiál, který by neobsahoval vady. V každém kovovém materiálu je již od výroby velké množství submikroskopických vad (na úrovni krystalových mřížek, atomů a zrn), které zcela zásadně ovlivňují vlastnosti každého kovového materiálu, nezabraňují však jeho efektivnímu praktickému využití.

Vadou výrobku se obecně rozumí každá odchylka od vlastností předepsaných technickými normami, technickými podmínkami případně smluvním vzorkem. Vady výrobku mohou být zjevné, které lze zjistit při prohlídce výrobku pouhým okem nebo jednoduchými pomůckami nebo skryté, které obvykle zjistíme pomocí přístrojů nebo laboratorními zkouškami. Podle ustanovení příslušných předpisů, mohou být vady přípustné nebo nepřípustné. Vady přípustné jsou takové, které normy, technické podmínky nebo smluvní vzorek dovolují a jejich odstranění není nutné. Vady nepřípustné jsou takové, které neodpovídají povoleným hodnotám. Tyto vady mohou být buď opravitelné, nebo neopravitelné [14].

Zjišťování kvality bodových svarů je dnes jednou z prioritních záležitostí při výrobě daného produktu. Každý zákazník má jiné nároky na jakost požadovaného spoje. Použití bodového svařování je většinou charakteristické velkosériovou výrobou, u které je potřeba kontrolovat kvalitu přímo při procesu výroby [7]. Proto se používají ochranné a kontrolní prvky. Při vytváření bodu je kontrolována velikost sekundárního proudu, digitální měřidla dle nastavení kontrolují odchylky na místech k tomu určených nebo kontroluje dělník pomocí měřidel a zároveň provádí vizuální kontrolu daného produktu. Těmito kontrolními mechanismy se v průběhu výroby zvyšuje produktivita a docílí se vyšší jakosti produktů jako celku.

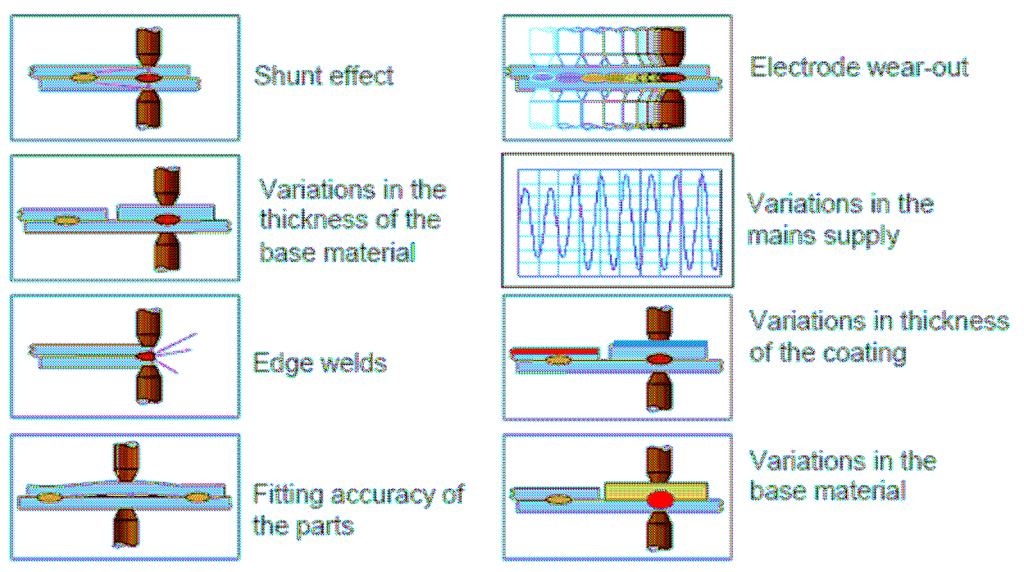
Kvalita bodových svarů se hodnotí různými destruktivními i nedestruktivními zkouškami, které více či méně objektivně postihují výsledný efekt svařovacího procesu. Vhodný rozsah a způsob hodnocení kvality závisí především na účelu prováděných zkoušek a na podmínkách provozu svarků [3].

Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů je uvedeno v normě ČSN EN ISO 15609-5 [30] a norma ČSN EN ISO 15614-12 [31].

Na zajištění kvality odporových svarů existuje celá řada norem. Náplní těchto dokumentů je především stanovení požadavků na obsah specifikací postupů svařování pro odporové bodové, švové a výstupkové metody svařování. Cílem je dosažení určitých úrovní jakosti požadované provozními podmínkami na základě národních norem a předpisů, nebo na základě dohody mezi smluvními stranami.

Například pro zajištění kvality vzorku s jedním bodem nebo výstupkem je třeba provést několik druhů zkoušek, jako je vizuální kontrola, zkouška stříhem, křížové zkoušení tahem, odlupovací zkouška, makrovýbrus, odlupovací zkouška a další a to ve stanoveném počtu [34].

Zdroje ovlivňující změny kvality: kolísání sítového napětí, kolísání přitlačné síly, odbočování proudu, svařování na okraji plechu, znečištěný povrch plechu, změna tloušťky plechu, změna počtu plechů, špatný dosed plechů, opotřebení elektrod, změna materiálu [11]. Na obr. 14 jsou uvedeny rušivé vlivy, které uvádí Doc. III-1381-06.



Obr. 14: Přehled rušivých vlivů u bodového odporového svařování [12]

Shunt efekt – odbočování proudu; Variations in the thickness of the base material – změna tloušťky materiálu; Edge welds – svařování na okraji plechu; Fitting accuracy of the parts – přesnost dílů, nevhodný postup; Electrode wear – out – opotřebení elektrod; Variations in the mains supply – kolísání napětí v síti; Variations in the thickness of the rating – změna tloušťky povlaku; Variations in the base material – změna materiálu

3.2.1 Destruktivní zkoušky

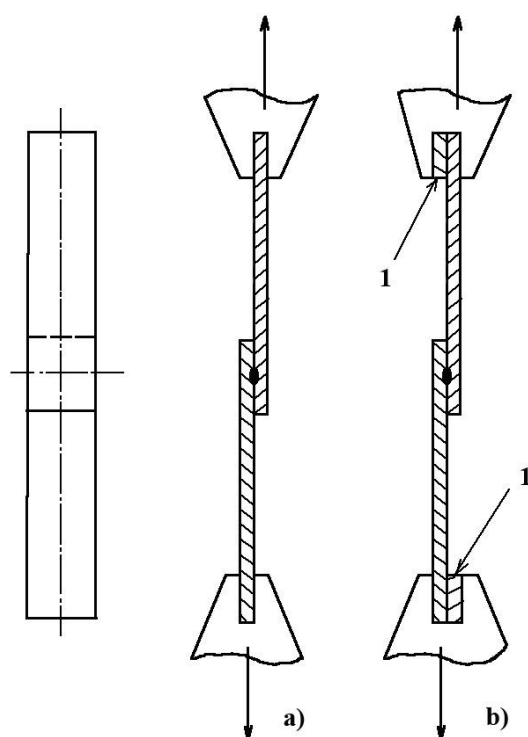
Destruktivní zkoušky svarů odporového svařování jsou popsány v normě ČSN EN ISO 14329 Odporové svařování - Destruktivní zkoušky svarů - Typy porušení a geometrická měření odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Tato mezinárodní norma stanovuje termíny a definice geometrických měření a typů lomů, které jsou používány v souvislosti se zkoušením odporových bodových,

švových a výstupkových svarů, u kterých rozdílné zátěžové konfigurace jsou příčinou rozdílného rozložení napětí ve svaru. [20]. Základní destruktivní zkoušky jsou:

- zkouška stříhem
- zkouška odlupovací
- zkouška krutem
- zkouška sekáčem
- zkouška metalografická

Zkouška stříhem:

Popis této zkoušky je uveden v normě ČSN EN ISO 14273 [21]. Tato mezinárodní norma stanovuje rozměry vzorků a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů u přeplátovaných plechů z jakýchkoliv kovových materiálů tloušťky od 0,5mm do 10mm, kde svary mají maximální průměr $7\sqrt{t}$, (kde t je tloušťka plechu v mm). Účelem této zkoušky je stanovit maximální střížnou sílu, kterou je svar schopen vydržet.



Obr. 15: Sestava pro zkoušku stříhem [20]

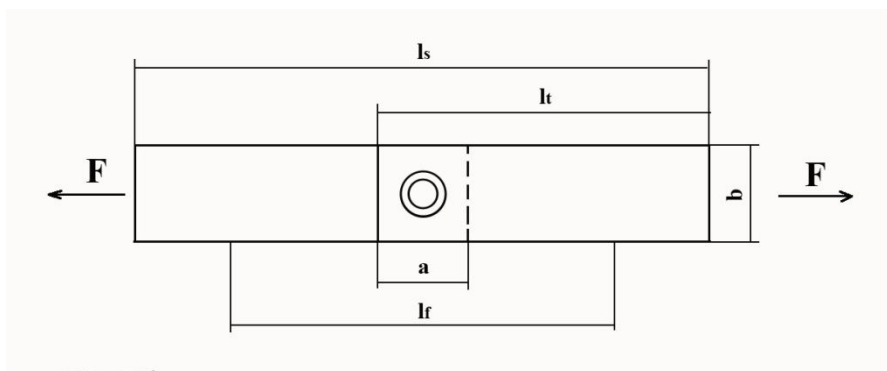
- a) profil bez podložených plechů
- b) profil s podloženými plechy (pro $t < 3$ mm a tam kde $t_1:t_2 > 1,4$)

1 – podložný plech

Vzorek se upne do trhačického stroje, který musí být v souladu s požadavky normy ISO 7500-1 takovým způsobem, že upínací čelisti jsou navzájem v požadované vzdálenosti od sebe (obr. 15). Rozměr vzorku a velikost přeplátování je stanoven podle tabulky z této normy. Zkouška musí být provedena v pokojové teplotě. Tuto metodu sem aplikoval i v experimentální části této práce.

Velikost a tvar vzorku

Velikost a tvar vzorku pro zkoušení stříhem je stanoven dle normy ČSN EN ISO 14273 [21]. Detailní pohled na normalizovaný vzorek je vidět na obr. 16 a Tab. 4.



Obr. 16: Vzorek pro zkoušení stříhem [21]

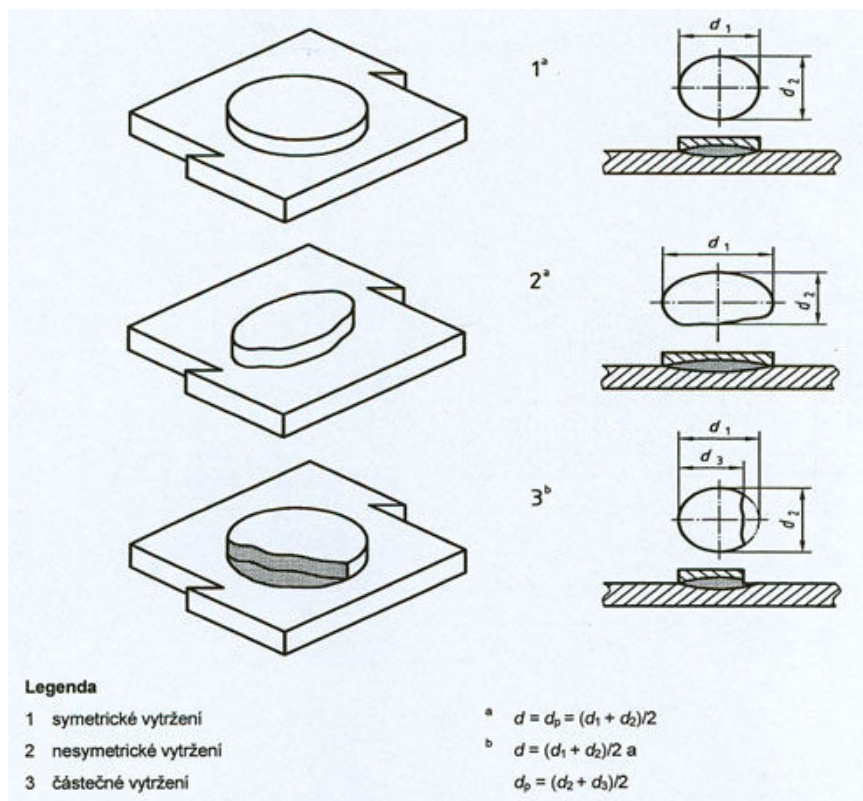
Tab. 4: Rozměry vzorků pro zkoušení stříhem [21]

Tloušťka t	Přeplátování a	Šířka vzorku ^a b	Délka vzorku l_s	Volná délka mezi čelistmi l_f	Délka jednotlivých zkušebních ústřížků l_t
0,05 ≥ t ≥ 1,5	35	45 (30)	175	95	105
1,5 ≥ t ≥ 3	46	60 (30)	230	105	138
3 ≥ t ≥ 5	60	90 (55)	260	120	160
5 ≥ t ≥ 7,5	80	120 (80)	300	140	190
7,5 ≥ t ≥ 10	100	150 (100)	320	160	210

^a Hodnoty v závorkách dávají přibližně 10% snížení pevnosti a proto se tyto šířky používají pouze po dohodě mezi výrobcem a zákazníkem.

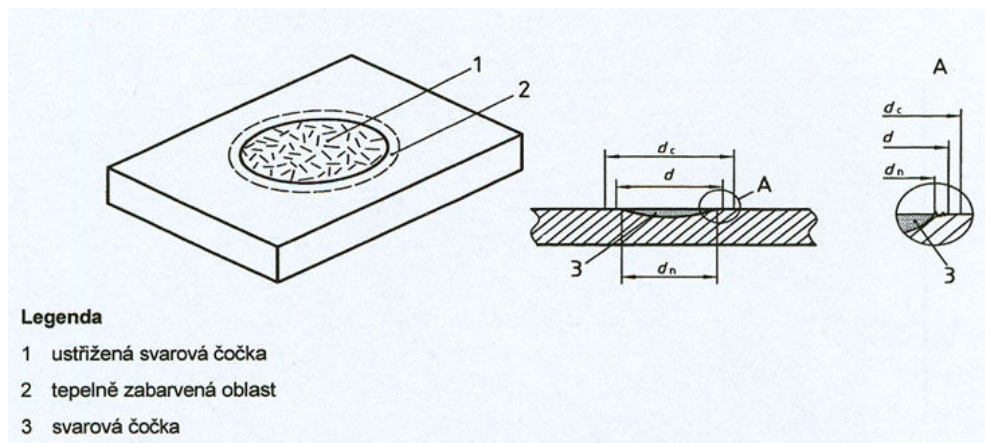
Měření svaru a průměru vytržené části při porušení vytržením

Norma ČSN EN ISO 14273 [21] stanovuje též způsob měření svaru a průměru vytržené části při porušení vytržením. Pokud dojde k vytržení bodového svaru, měříme výčnělek d_1 a d_2 (druhé měření přesazené o 90°). Hodnota d je posléze stanovena středním průměrem d_1 a d_2 (obr. 17):



Obr. 17: Měření svaru a průměru vytržené části při porušení vytržením [21]

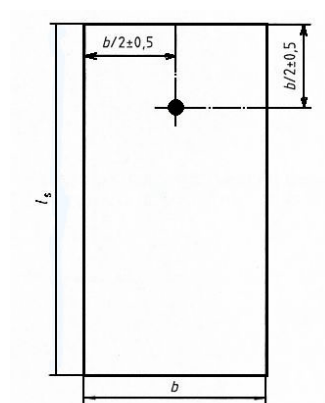
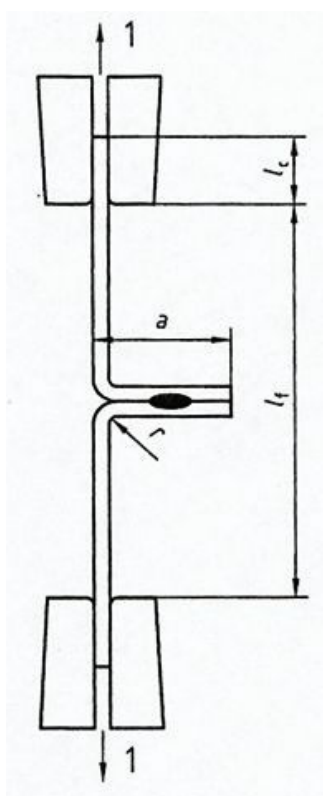
V případě, že dojde k porušení spoje v dělicí rovině, je brán průměr svaru d jako střední průměr natavené oblasti měřený v dělicí rovině s vyloučením tepelně zbarvené oblasti spoje (obr 18).



Obr. 18: Měření velikosti svaru porušeného v dělicí rovině [21]

Zkouška odlupovací

Postup odlupovací zkoušky je stanoven normou ČSN EN ISO 14270 [22]. Tato mezinárodní norma stanovuje rozměry vzorku a postup pro mechanizované odlupovací zkoušení jednotlivých odporových bodových, švových a výstupkových svarů u přeplátovaných plechů z jakýchkoliv kovových materiálů tloušťky od 0,5 mm do 3 mm, kde svary mají maximální průměr $7\sqrt{t}$, kde t je tloušťka plechu v mm (obr. 19, 20).



Obr. 20: Zkušební vzorek pro jednotlivé bodové nebo výstupkové svary [22]

Obr. 19: Princip odlupovací zkoušky [22]

1 – směr působení síly

r – poloměr \approx tloušťce plechu

Tab. 5: Rozměry vzorků pro odlupovací zkoušku [22]

Tloušťka t	Přeplátování a	Šířka vzorku b	Délka vzorku l_s	Volná délka mezi čelistmi l_f	Délka upnutí v čelistech l_c
$0,5 \leq t \leq 1,5$	35	45	125	95	40
$1,5 \leq t \leq 3$	45	60	160	105	60

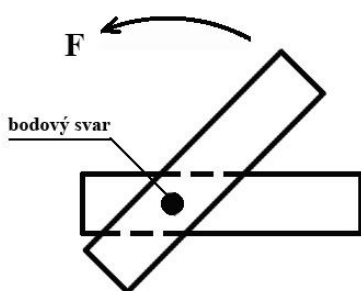
Pozn.: Rozměry v mm

Díky této metodě lze odhalit studené spoje, ke kterým jsou náchylné především materiály s povrchovou úpravou. Jde o rychlou zkoušku, kterou je možno podrobit zkoušený vzorek přímo na pracovišti. Podle velikosti svarové čočky je možné určit například stav opotřebení elektrody nebo špatné nastavení svařovacích parametrů. Lze stanovit i tepelně ovlivněnou oblast, která se s opotřebením elektrody zvětšuje. Především u malých bodových svarů vzniká na povlakovaném plechu kolem svarové čočky oblast, ve které dojde ke spojení „pájením“ pájkou z roztavené povrchové vrstvy. Takové svary jsou nevyhovující a mohou se porušit při náhodném nárazu výrobku [3]. I tuto metodu sem aplikoval při určování kvality bodového svaru v experimentální části této práce.

Zkouška krutem

Podrobnosti k této metodě (obr. 21) jsou stanoveny v normě ČSN EN ISO 17653 [23]. Tato evropská norma je určena pro zkušební vzorky bodově svařené, které mají jednotlivé tloušťky ocelových plechů v rozmezí od 0,5 mm do 3,0 mm. Za jistých okolností může být norma použita i pro neželezné materiály.

Účelem této zkoušky je určení vlivu různých typů oceli, parametrů svařování a jiných činitelů na deformační charakteristiky bodového svaru. Z porušených vzorků umožňuje tato zkouška stanovit průměr svaru a typ porušení. Navíc může být stanoven maximální krouticí moment (krut) a odpovídající úhel zkroucení.



Obr. 21: Zkouška krutem [23]

Zkouška metalografická

Zahrnuje hodnocení základních mikrostrukturních vlastností materiálů zpravidla prováděných pod mikroskopem při velkém zvětšení. Posuzuje se makrostruktura i mikrostruktura spoje. Důležitá je příprava zkoušeného vzorku, který

je nutno podrobit mnoha přípravným operacím jako je broušení, leštění a naleptání. Norma určující podmínky této zkoušky je ČSN EN 1321.

Metalografické hodnocení bodového svarového spoje nám dává přehled o [3]:

- strukturní stavbě svarového spoje;
- strukturní stavbě teplem ovlivněné oblasti;
- charakteru okolní zóny svarové čočky ve styku svařovaných plechů;
- homogenitě a celistvosti svaru (trhliny, plynové dutiny, staženiny apod.);
- rozměru a tvaru svarové čočky, velikosti vtisku elektrod (obr. 4).

3.2.2 Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní zkoušky svarů jsou nejrozšířenější skupina zkoušek svarových spojů, protože výrobky se po zkoušce dají bez problémů dále používat. Vycházejí z jednoduchého (ale i velmi zjednodušeného názoru), že pokud se ve svarovém spoji nevyskytují vady (nebo jenom malé, málo četné nebo málo závažné vady), tak bude svarový spoj dobře sloužit v provozu.

Nedestruktivní zkoušky představují důležitý článek při zjišťování jakosti ve všech etapách výroby a provozní spolehlivosti. Význam nedestruktivní kontroly spočívá v zajištění kvality výrobku, jeho technické způsobilosti a funkční bezpečnosti [14].

Základní nedestruktivní metody používané pro kontrolu jakosti svarů dělíme podle toho, zda identifikujeme vady na povrchu svaru nebo uvnitř svaru.

K zjišťování povrchových vad se používají metody:

- vizuální
- penetrační (kapilární)
- magnetická prášková

Vnitřní vady se zjišťují metodami:

- ultrazvukem
- prozářením

Povrchové vady bodových svarů nejsou většinou tak důležité jako jsou vady vnitřní, lze od nich ale usuzovat, kvalitu propojení uvnitř svaru.

Vizuální zkouška.

Vizuální zkouška je nejjednodušší a zároveň nejdostupnější a nejlevnější defektoskopickou kontrolu svarů, kdy pouhou prohlídkou prostým zrakem nebo v přísnější podobě pomocí zraku a optických přístrojů s několikanásobným zvětšením (lupa), zjišťujeme povrchové defekty a ověřujeme splnění podmínek pro další eventuální nedestruktivní kontrolu [14]. Lze s ní posoudit hloubku vtisku elektrody, natavení povrchu materiálu, symetrii vzniklého svaru, výstřik z povrchu materiálu apod. [3].

Základem této zkoušky je několik předpokladů : dobře očištěný povrch svaru od strusky, rozstříku, dobře přístupný povrch svaru pro vizuální prohlídku, dobré osvětlení prohlíženého místa přirozeným nebo umělým světlem a ostrý zrak zkoušejícího, který je schopen rozeznat požadované drobné detaily i blízké drobné detaily od sebe odlišit [14].

Provádění vizuální kontroly se řídí normou ČSN EN 970 [24].

Penetrační zkouška

Tato zkouška umožňuje s poměrně velkou citlivostí zjišťovat povrchové vady, které však musí souviset s povrchem, tzn. že musí být na povrchu otevřené, aby do nich mohla vniknout detekční tekutina. Je tedy založena na vztlínivosti některých kapalin (uhlovodíku, např. petroleje) do otevřených dutin v materiálu. Využívá se tedy kapilárních jevů, především smáčivosti a vztlínivosti.

Hodnocení je subjektivní a vyžaduje zkušenosti. Výhodou této metody je nenáročnost, nízká cena, snadná indikace vad a poměrně velká citlivost. Nevýhodou je odhalení pouze vad spojených s povrchem, potřeba čistého a hladkého povrchu ($R_a 3,2 \mu m$), nestálost výsledků (vady je třeba hledat brzy po nanesení vývojky, po delší době mohou malé vady zmizet, velké se zase rozpíjí a jeví se větší) a obtížná registrace vad. I tato zkouška se doplňuje zkouškami prozářením nebo ultrazvukovou zkouškou [14].

Kapilární zkouška se provádí podle normy ČSN EN 579-1 a svary se vyhodnocují podle normy ČSN EN 1289.

Magnetická prášková

Tato metoda umožňuje zjišťovat povrchové nebo těsně podpovrchové (max. asi 2-3 mm) vady. Je založena na principu zviditelnění magnetických siločar vystupujících na povrch feromagnetických materiálů (což je určité omezení této

metody – feromagnetické jsou např. nelegované a legované oceli kromě ocelí austenitických). Pokud je na povrchu, nebo těsně pod ním, nějaká vada ve zkoušeném materiálu (která není feromagnetická, např. trhлина, struska, bublina), tak magnetické siločáry „obcházejí“ tuto vadu a uzavírají se vzduchem a vystupují nad povrch materiálu, kde tvoří tzv. rozptylové magnetické pole.

Výhodou magnetické zkoušky je rychlost, malé náklady na zařízení, snadná obsluha a schopnost odhalit i podpovrchové vady. Nevýhodou je práce se špinavou kapalinou, možnost opálení povrchu při magnetizaci průchodem proudu, obtížná zjistitelnost malých a oblých vad [14].

Provádění magnetických zkoušek se řídí normami ČSN EN 1290 [25] a ČSN EN 1291 [26].

Vnitřní svarové vady mohou mít přímý vliv na požadovanou mez schopnosti přenášet různá napětí. Na vyhodnocování těchto defektů jsou vyčleněná odborná pracoviště, která se jimi zabývají.

Zkouška ultrazvuková

Metoda je založena na odrazu resp. lomu mechanického vlnění dvou různých materiálů, které je vysíláno do požadovaného místa. Jelikož vada v materiálu je tvořena například staženinou nebo bublinou, dojde k náhle změně poměru v šíření vlnění na rozhraní dvou různých vlnění.

Zdroje ultrazvukových impulsů jsou ultrazvukové zkušební sondy, jejichž základním prvkem je elektroakustický měnič. Tyto měniče mění elektrický signál na mechanický a nejčastěji se používají měniče piezoelektrické. Podle druhu vln, které sonda vysílá a přijímá, se dělí sondy na přímé a úhlové. Používá se podélných a příčných ultrazvukových vln o frekvenci 1 až 10 MHz. Budí se piezoelektrickými nebo elektrostričními destičkami. Podélné vlny se mohou šířit v plynných, kapalných i v pevných látkách, příčné jen v tuhých látkách. Jako indikátor se používá obrazovka, na jejímž stínítku se zobrazují vysílané a přijímané impulsy. V okamžiku vysílání se na obrazovce objeví vysílací impuls (počáteční echo) a koncové echo. Mezi nimi jsou potom případná echa signalizující vadu v kontrolovaném výrobku. Vzdálenost mezi počátečním a koncovým echem je přímo úměrná tloušťce základního materiálu [14].

Pro zkoušení ultrazvukem platí norma ČSN EN 1714 [27] a pro vyhodnocení platí ČSN EN 1712 [28].

Používají se dvě známé metody:

- průchodová metoda
- odrazová metoda

a) Metoda průchodová

jde o nejjednodušší metodu zkoušení ultrazvukem. Vady v materiálu jsou překážkou, za níž se vytvoří ultrazvukový stín, tj. akustický tlak procházející ultrazvukové vlny se sníží. Na dvou protilehlých površích se souose umístí vysílací a přijímací sonda. Základem metody je měření hodnoty ultrazvukové energie, která projde zkoušeným předmětem. Pokud dojde mezi vysílačem a přijímačem k poklesu tlaku, zjistíme tím, že je v tomto místě v materiálu vada. Tato metoda je vhodná pro zkoušení výrobků menších tloušťek s rovnoběžnými povrchy přístupnými z obou stran. Nevýhodou je nemožnost odlišit, zda pokles akustického tlaku je v důsledku vady nebo nedokonalým akustickým navázáním. Další nevýhodou je, že se musí použít dvě oddělené ultrazvukové sondy, které musí být umístěny souose [14].

b) Metoda odrazová

Je všestranně použitelná a poskytuje informace nejen o vadách, ale i o struktuře materiálu, rozměrech atp. Princip metody spočívá ve vysílání krátkého ultrazvukového impulsu, který se odráží od všech rozhraní (vad i povrchů), vrací se zpět do sondy a časový průběh je zobrazován na obrazovce. Generátor tedy vybudí ultrazvukovou sondu, která vysílá i přijímá ultrazvukové impulsy a je akusticky navázaná na zkoušené prostředí. Impulsy se odrážejí od vad a od povrchu materiálu a vracejí se zpět do sondy. Generátor je spouštěn synchronizátorem současně se zdrojem časové základny, která se přivádí na horizontální vychylovací destičky obrazovky. Na její vertikální vychylovací systém je připojen výstup zesilovače. Impulsová odrazová metoda dává informaci o vzdálenosti odrazové plochy podle zpoždění, s nímž se odražený impuls (echo) vrátí do sondy a o velikosti odrazové plochy podle výšky echa. Výhodou této metody je možnost vysílat i přijímat jednou sondou a lze tedy kontrolovat i výrobky přístupné pouze z jedné strany [III].

Zkouška prozářením (RTG)

Jedná se o nejstarší metodu nedestruktivního zkoušení a její princip spočívá v pohlcování ionizačního záření (pronikavé elektromagnetické záření) v kontrolovaném výrobku a z následného zviditelnění prošlého záření vhodným detektorem a lze tak stanovit místa, ve kterých se vyskytují vady. V těchto místech je záření pohlcováno méně a na detektoru (filmu) se potom jeví jako tmavší místa. Tato metoda slouží ke zjišťování vnitřních vad a někdy i pro zjišťování povrchových, ale nepřístupných vad.

Využívá se vlastnosti každého prvku (slitiny prvků), kterou je různé pohlcení (zeslabení) pronikavého elektromagnetického záření procházejícího tímto materiálem. U kovových materiálů (které obvykle svařujeme) je tímto elektromagnetickým zářením nejčastěji rentgenové (RTG) nebo gama záření.

Jako zdroje záření se používají rentgenové lampy (záření X – rentgenové) nebo používáme-li gama záření, tak to vychází z malého množství radioaktivního zářiče (radioaktivních prvků při jejich radioaktivním rozpadu, kterým říkáme radioizotopy – iridium, kobalt). Dá se použít i lineární urychlovače (záření XX – urychlené elektrony). Jako detektor záření se používá radiografický film.

Necháme-li procházet RTG (nebo gama) záření svarovým spojem, tak na protilehlé straně ke zdroji záření dostáváme profil intenzit záření. Intenzitu záření většinou registrujeme pomocí fotografického filmu, na fotoluminiscenčním stínítku (štítku), a nebo pomocí speciální elektronky převádíme intenzitu záření do elektronické podoby.

Prozařování je ale také velmi drahou zkouškou, vyžadující speciální zařízení, zvláštní bezpečnostní pracoviště a vyškolený personál. Ionizující záření je lidskému organismu nebezpečné. Pracoviště pro provádění zkoušek prozářením patří mezi riziková pracoviště a platí pro ně zvláštní hygienické a bezpečnostní předpisy [14].

Pro zkoušku prozářením platí norma ČSN EN 1435 [29].

4.0 Charakter a rozsah změn základního materiálu při svařování

Svařovací proces je vždy souhrnem teplotních s deformačních účinků na svařovaný materiál. U bodového odporového svařování jsou oba tyto účinky

významné a rozhodují a celkové kvalitě spoje. Vysoké teploty a jejich rychle změny v základním materiálu způsobují:

1. fázové přeměny (tavení základního materiálu, jeho tuhnutí a změny modifikace v tuhém stavu),
2. fyzikálně chemické reakce, které probíhají ve svarové lázni,
3. změny struktury v oblasti svarového spoje,
4. změny objemu, které ve svarovém spoji způsobí značné vnitřní napětí a deformace, jež mohou být příčinou vady svaru.

Míra a rozsah změn budou záviset především na:

- a) druh svařovaného materiálu (chemické složení, fyzikální vlastnosti, geometrické rozměry);
- b) technologii svařování (metoda, parametry, postup, metalurgie svařování); tj. na teplotním a deformačním účinku procesu).

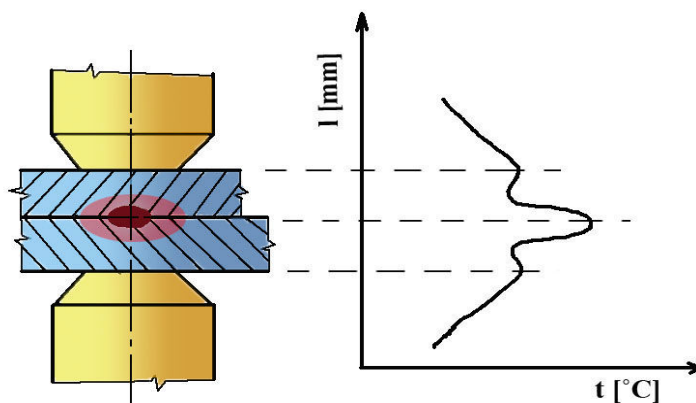
Tyto faktory zároveň určují rozložení teplot v celém svarovém spoji, které je důležité pro metalurgii svařování.

Vlivu svařovacího procesu na základní materiál nelze zabránit. Vhodným stanovením postupu svařování lze ale rozsah a charakter změn v základním materiálu udržet v míře umožňující využití svaru. Předcházet nepříznivým důsledkům všech změn v základním materiálu při svařování je tedy nutno věnovat pozornost již při stanovování postupu svařování. Je nutno určit „optimální“ režim svařování a posoudit vliv vneseného tepla v jednotlivých oblastech svarového spoje ve vzájemném vztahu k dosaženým teplotám a časům působení. Tyto vazby a souvislosti určují teplotní cykly a teplotní pole při svařování a v součinnosti s deformačními procesy v oblasti svaru o jeho geometrii svaru a jeho kvalitě.

4.1 Teplotní pole při bodovém svařování

Při procesu svařování, působením soustředěného tepla, dochází krátkodobě k místnímu intenzivnímu ohřátí materiálu na vysokou teplotu. Vneseným teplem se natavuje malý objem kovu, ale v důsledku tepelné vodivosti se ohřívá i okolní oblast základního materiálu. Během krátké doby se teplota kovu v místě mění ve velmi širokém rozsahu: od teploty prostředí až do teploty tavení. S rostoucí vzdáleností od

zdroje se teplota snižuje. Na obrázku 22 je křivka rozložení teploty při vzniku bodových svarů. Je na ní vidět prudký nárůst teploty v místě vzniku svaru [6].



Obr. 22: Průběh teploty při bodovém odporovém svařování

Pro matematický popis teplotního pole při bodovém svařování se uvažuje symetrie podle osy „z“, přičemž popis s určitým zjednodušením lze zapsat Fourierovou rovnicí pro vedení tepla v cylindrických souřadnicích [9]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \left[\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{q_v}{c \cdot \rho} \quad (3)$$

T – teplota	[K]
t – čas	[s]
a – součinitel teplotní vodivosti	[m ² .s ⁻¹]
q_v – intenzita objemového zdroje tepla	[J.m ⁻³ .s ⁻¹]
r – poloměr elektrody	[mm]
c – měrné teplo	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
ρ – hustota	[kg.m ⁻³]

Zadáním okrajových podmínek a materiálových konstant umožňují simulační programy simulovat proces svařování. Programy zahrnují dva základní simulační modely [7].

- teplotně – elektrický model
- mechanický model

Nezjednodušené matematické vyjádření teplotního pole při odporovém bodovém svařování je velice složité. Výpočet matematického modelu spočívá v metodě konečných

prvků, který se přibližuje reálnému průběhu. Řešení je tedy akceptovatelné za určitých okrajových podmínek, které neodrážejí skutečný průběh termofyzikálních vlastností svařovaných materiálů.

Další nesoulad nastává při existenci kapalné a tuhé fáze a proměnné hranice mezi nimi při tvorbě svarového spoje. Teplo potřebné pro vytvoření bodového svaru vzniká průchodem svařovacího proudu soustavou, kterou lze z elektrického hlediska nahradit systémem do série zařazených odporů. Výpočet celkového odporu je značně komplikovaný z hlediska časové změny různých složek odporu. Na obr. 2 jsou vyznačeny jednotlivé dílčí odpory, které je nutno při výpočtu teplotního pole uvažovat. Dále by se musely uvažovat i změny odporu při roztavení zinkové vrstvy.

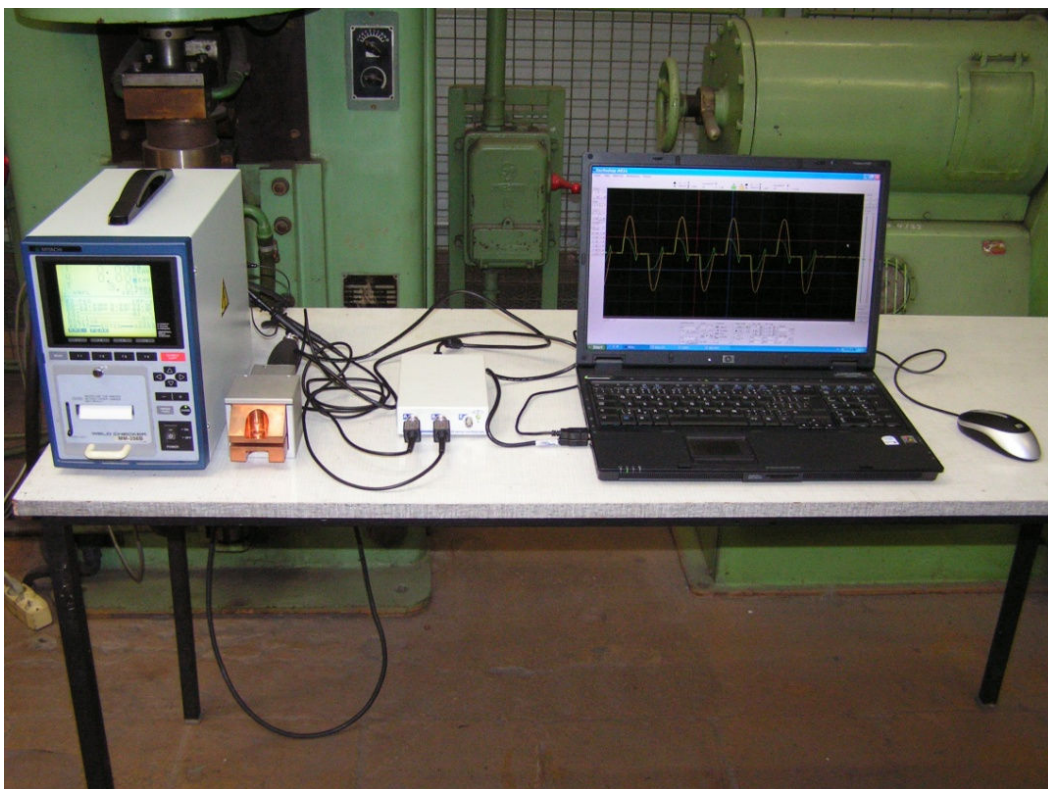
Další změna nastává vlivem metalurgicky ovlivněné vrstvy na povrchu svařovacích elektrod a tímto se tedy odpor svařovacích elektrod mění v závislosti na počtu provedených bodů [2].

5.0 Cíle diplomové práce

Diplomová práce vychází z poznatků uvedených v disertační práci Neumanna [3], který se zaměřil na bodové odporové svařování žárově pohliníkových plechů v souvislosti s hodnocením životnosti elektrod. Diplomová práce navazuje na tyto poznatky s využitím moderních metod elektronických monitorovacích systémů s cílem navrhnout způsob zpracování a analýzy získaných dat z monitorovacího systému tak, aby bylo možno v rámci experimentálních prací provádět korekce v nastavení svařovacích parametrů a reagovat tak např. na postupně rostoucí opotřebení elektrod.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST PRÁCE

Základní návrh a ověření nového svařovacího pracoviště je v diplomové práci Jordána [7]. Ten se zabýval především ověřením monitorovacího zařízení MM-356B pro odporové svařování (obr.22). Předěšlé zařízení, kterým katedra strojírenské technologie disponovala a na kterém se svařovací parametry zjišťovaly, již nebylo pro stávající poměry dostačující a manipulace s ním by byla značně časově náročná. Pro mé potřeby byla použita právě tato nová mobilní soustava měřícího zařízení (obr. 23).



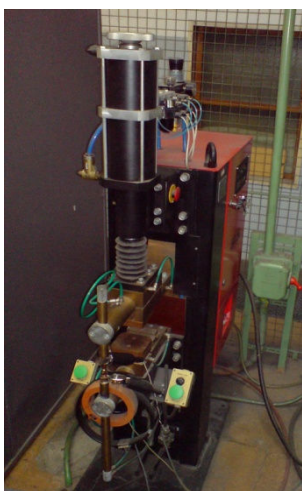
Obr. 23: Mobilní měřící pracoviště [7].

6.0 Vybavení svařovacího pracoviště

Svařovací pracoviště je vybaveno pneumatickou odporovou svářečkou **WBLP40**, která je při využitelná jako:

- Bodová svářečka s plynule měnitelným vyložení ramen od 250 do 450 mm při rozevření ramen od 100 do 340 mm s plynulým přestavením dolního ramena. Ovládání spuštění stroje probíhá pomocí šlapacího spínače.
- Svařovací lis při upnutí svařovacího přípravku. Spuštění stroje probíhá pomocí dvou ručních spínačů, které zabraňují úrazu při pracovním pohybu stroje.

Stroj je vhodný pro sériovou výrobu, kde umožňuje vysokou efektivnost a produktivitu práce. Pohyb horní elektrody zajišťuje pneumatický válec. Přítlačná síla mezi elektrodami je plynule regulovatelná v závislosti na nastavení tlaku vzduchu. Stroj je chráněn jističem s vypínací cívkou, který slouží současně jako hlavní vypínač. Mikroprocesorová řídicí jednotka umožňuje pomocí bezkontaktního modulu velmi přesné řízení výkonu, opakovatelné přednastavení 15-ti uživatelských svařovacích programů, dále ovládání ventilu chladicí vody nebo chladicí jednotky a kompenzaci vlivu změn napájecího napětí. Řídicí jednotka obsahuje také programy pro autodiagnostiku se zobrazením druhu poruchy na displeji, krokovou funkci proudu a volbu časového harmonogramu svařovacího cyklu. Na přání je možno stroj doplnit obvody pro spolupráci s externím počítačovým systémem (zadávaní, sběr a evidence svařovacích parametrů), popřípadě blokováním současného svařování několika strojů. Bodovka je vybavena výstupem pro automatické řízení chladicí jednotky Jesva [10].



Obr. 24: *Pneumatická odporová svářečka WBLP40*



Obr. 25: *Elektrody odporové svářečky*

Pro snímání a záznam vybraných veličin svařovacího procesu slouží digitální paměťový dvoukanálový **osciloskop M524** (obr. 26) připojitelný přes USB 1.1 a

USB 2.0. k počítači. Jednoduchost instalace a připojení k počítači vytváří z M524 přístroj vhodný pro mobilní použití. Zařízení je připojitelné k počítači standardním USB kabelem a je napájeno přímo z něj. Díky maximální spotřebě 2.25W je přístroj vhodný k použití s přenosným počítačem napájený baterií.

Vstupy osciloskopu jsou tvořeny BNC konektory a jsou kompatibilní se standardními sondami (s minimálním kompenzačním rozsahem 32 pF). Vnitřní paměť (8K pro každý kanál) je používána jako vyrovnávací paměť na uložení naměřených průběhů. Přístroj umožňuje záznam průběhu proudu a napětí v závislosti na čase a výsledná data exportovat do datového souboru pro další analýzu.

K dispozici jsou čtyři režimy sběru dat (Auto, Normal, Single, Manual). Spouštění je řízeno dvojím spouštěcím systémem vybaveným digitálním filtrem impulsů a čítačem výskytů na každé úrovni. Kanál A, kanál B a vnější vstup je možné aktivovat jako zdroj signálu pro spouštěcí systém. Práh externího vstupu je nastavený na přibližně 1.5V a je kompatibilní s TTL a CMOS.

V režimu zobrazení 1:1 je časová základna nastavitelná od 5 ns/div do 100 ms/div s krokem 1-2-5. S využitím jiných režimů zobrazení je možné nastavit časovou základnu od 500 ps/div do 1.6 s/div [16].

Součástí základního balíku osciloskopu je i programové vybavení, které umožňuje jeho ovládání přes PC. Náhled programu v příloze č. 2.



Obr. 26: Digitální paměťový osciloskop M524 [16]

Aby bylo měření co nejpřesnější, je snímání signálů napětí a proudu realizováno odstíněnou dvousvazkovou sondou k osciloskopu z koaxiálního kabelu. Uvnitř sondy je dvojí vedení, pro živý konec a pro zem. Tato skutečnost umožňuje

využít sondu ke stejnému principu měření, kterým měří voltmetr. Jeden kanál osciloskopu je pak neobsazen [7].

Multifunkční měřič Miyachi MM-356B (obr. 27) slouží k určení svařovacího proudu, svařovacího napětí, svařovací síly a svařovacího času. Rovněž může být měřen čas přitlaku a čas působení elektrodové síly. Veličiny svařovacího proudu, napětí a síly však mohou být určeny pouze v následujících dvou konfiguracích:

- a) měřením svařovacího proudu a svařovacího napětí zároveň
- b) měřením zkratového proudu a svařovací síly zároveň

Přístroj může mít v paměti více než 150 000 hodnot výsledků ve 4 000 větách. Potřebné výsledky mohou být okamžitě vytištěny integrovanou tiskárnou, případně pomocí speciálního převodníku a přes standardní sériové rozhraní exportovány do připojeného PC.

Nevýhodou tohoto přístroje je špatně viditelné vykreslení průběhů svařovacího napětí a proudu. Displej je vyroben z tekutých krystalů a jeho jemnost byla pro další zpracování dat nevyhovující. Orientace po vytištění průběhů svařovacích parametrů na štoček o šířce přibližně 60 mm je velmi obtížná. Přístroj však umožňuje propojení s externím zařízením, například s osciloskopem, který se propojí s danými piny na výstupu a záznam lze zobrazovat, zpracovávat a uchovávat skrze toto externí zařízení [10].



Obr. 27: Multifunkční měřič Miyachi MM-356B

Pro bezproblémový chod zařízení a správnou funkci osciloskopu je třeba počítač, na kterém funguje operační systém Windows 98SE, Windows ME, Windows 2000, Windows XP a Windows Vista a disponuje konektorem USB 1.1 nebo USB 2.2. Velkost obrazovky osciloskopu je možné měnit podle rozlišení

monitoru (minimální rozlišení obrazovky je třeba 800x600). V našem případě se používal **Notebook HP**

7.0 Průběh experimentu

Experimentální práce byly zaměřeny na realizaci modifikované zkoušky životnosti elektrod. Během zkoušky byl u vybraných svarových spojů proveden záznam časových průběhů napětí mezi elektrodami a svařovacího proudu. Celý experiment se skládá z několika spolu propojených operací. Na začátku bylo důležité zvolení vhodného materiálu pro svařování a s tím spojený vhodný typ elektrod. Použité pracovní zařízení je popsáno v kapitole 6.0.

7.1 Použitý materiál a příprava měření

Pro tento experiment byl zvolen žárově pohlínkovaný ocelový plech o tloušťce 0,8 [mm]. S tímto materiálem se již pracovalo ve výzkumných pracích na katedře tváření a plastů TUL a proto se budou moct naměřené výsledky porovnat.

Použil jsem plechy od firmy THYSSEN typ fal 1 (obr. 28). Plechy fal 1 mají povlak ze slitiny Al + 8 až 10 % Si. Tento typ plechu má své využití v korozním prostředí i při působení vyšších teplot.

Plechy fal 1 se vyrábějí v pěti skupinách podle množství naneseného kovu na jednotku plochy povrchu a to 80, 100, 120, 150 a 200 g.m⁻² oboustranně. Základní ocelový plech se vyrábí v pěti jakostech z měkké nelegované oceli (označení A1, Bu, Bg, C, D), ve třech jakostech ze stavebních ocelí (označení L1, M1, N1) a jedné jakosti zvláštní (označení S1) [3].

Specifikace jednotlivých jakostí je následující [3]:

A1 – základní jakost;

Bu – tažný;

Bg – hlubokotažný;

C – hlubokotažný odolný proti stárnutí;

D – zvláště hlubokotažný a odolný proti stárnutí;

L1 – 250 AI (mez kluzu min. 250 N.mm⁻²);

M1 – 280 AI (mez kluzu min. 280 N.mm⁻²);

N1 – 320 AI (mez kluzu min. 320 N.mm⁻²);

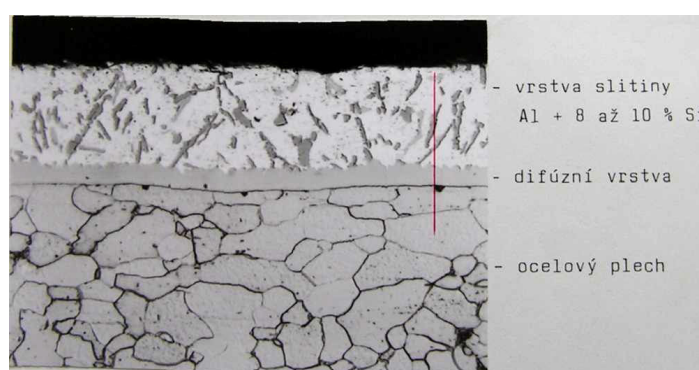
S1 – mikrolegovaná ocel se zvýšenou pevností a mezí kluzu za zvýšených

teplot.

Tab. 6: Mechanické vlastnosti základního materiálu [3]

základní materiál	R _m [MPa]	Re [MPa]	A [%]
plech tl. 0,8 mm	367	274	33

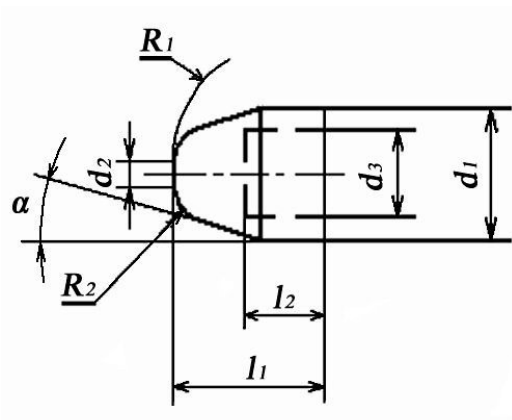
Ocelový plech má prakticky čistě feritickou strukturu s ojedinělými útvary terciálního cementitu na hranicích zrn. Povlak má strukturu obdobnou jako podeutektický silumin [3].



Obr. 28: Struktura základního materiálu a povlaku (přibližně 1000x zvětšeno) [3]

Použitá čepička elektrody

Označení elektrody pro tento experiment je G16 x 20 (obr. 29), která je stanovena normou ČSN EN 25821 [35]. Jde o běžně používaný typ složení Cu-Cr.



Obr. 29: Schéma použité čepičky elektrody

- $d_1 = 16$ [mm]
- $d_2 = 4,5$ [mm]
- $d_3 = 12$ [mm]
- $l_1 = 20$ [mm]
- $l_2 = 9,5$ [mm]
- $R_1 = 40$ [mm]
- $R_2 = 6$ [mm]
- $\alpha = 15^\circ$

Stanovení přepočtového koeficientu

Vzhledem k tomu, že hodnota svařovacího proudu je na osciloskopu sledovaná jako hodnota signálu indukovaného napětí na snímači proudu, je na začátku měření třeba stanovit přepočtový koeficient (tab. 7), aby se zjistily skutečné hodnoty proudu. Tento koeficient je nutno stanovit experimentálně, pokud není poskytnut přímo od výrobce. Stanovení přepočtového koeficientu se určí následujícím postupem. Po zobrazení průběhu proudu (ve skutečnosti indukovaného napětí) na displeji osciloskopu se změří velikost napětí mezi nejvyšším a nejnižším bodem průběhu z důvodu největší přesnosti. Zároveň se určí velikost proudu změřeného přístrojem Miyachi (obr. 27). Přístroj měří efektivní nebo maximální hodnotu proudu. Hodnotu maximální jsem použil pro stanovení koeficientu. Po zjištění těchto dvou nezbytně nutných čísel pro výpočet, jsem vydělil hodnotu získanou z přístroje Miyachi hodnotou získanou z osciloskopu. Výsledný poměr je bezrozměrný. Provedením více měření, bude jejich průměr limitovat k přesnější hodnotě [7].

Tab. 7: Stanovení přepočtového koeficientu

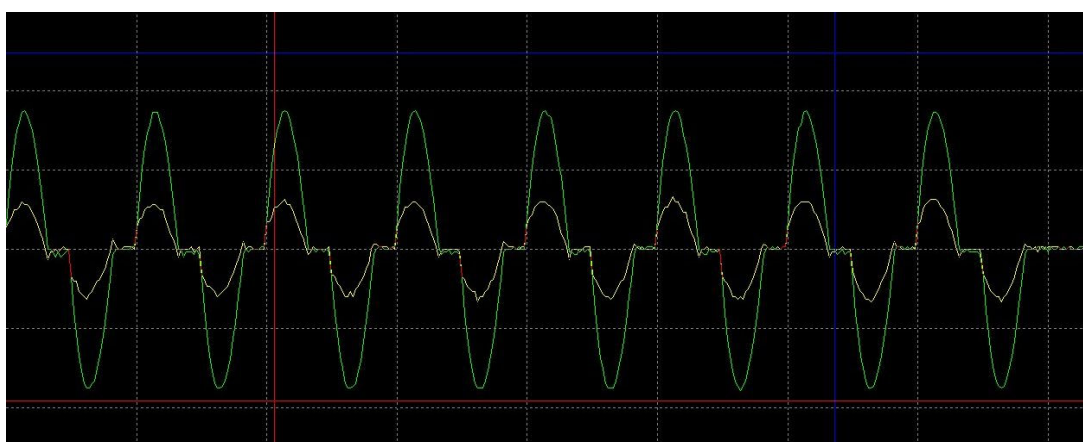
Č. měření	1 perioda	I _{peak}	Scope	V	kA/V
1.	Výkn 50%	7,77	1 V	1,625	4,78154
2.	Výkn 50%	7,62	1 V	1,610	4,73439
Průměr					4,75796

7.2 Nastavené parametry

Na základě svařovaného materiálu byly nastaveny základní svařovací parametry. A to svařovací síla $F_s = 2250$ [N], svařovací čas $t_s = 8$ [per] a svařovací výkon 50%. Bodový svar byl na začátku měření u dvou vzorků zkontrolován pomocí odlupovací zkoušky (příloha 2), přičemž u obou došlo k vytržení svarové čočky. To znamená, v místě spoje došlo ke vzniku potřebného množství tepla a k pevnému spojení.

7.3 Záznam dat

Celkový počet provedených bodových svarů byl 401. Po 50 zhotovených svarech na přeplátovaných pásech dvou plechů s rozměry 45x1000 mm se na elektrody odporové svářečky upevnil přípravek, který umožňuje svařovat plechy normalizovaných rozměrů pro stříhovou zkoušku [21]. Následuje skupina svarů, která je určena k dalšímu měření. U této skupiny svarů byla provedena opět kontrola svaru pomocí odlupovací zkoušky (příloha 3). Průběh proudu a napětí byl zaznamenán osciloskopem na monitoru (obr. 30), hodnoty vyexportované do datového souboru txt (obr. 31) a vytvořen screen průběhu. Následně byly odečteny hodnoty proudu z měřicího přístroje Miyachi.



Obr. 30: Průběh napětí a proudu (ve skutečnosti indukované napětí), svařovací proud zeleně, napětí mezi elektrodami žlutě.

01581 - Poznámkový blok			
Soubor	Úpravy	Formát	Zobrazení
čas t	proud I	Napětí U	
0	0,0625	0,15625	
200	0,375	0,5	
400	0,53125	0,6875	
600	0,65625	0,75	
800	0,875	0,8125	
1000	1,03125	0,8125	
1200	1,09375	0,875	
1400	1,21875	0,84375	
1600	1,3125	0,875	
1800	1,40625	1	
2000	1,5	0,9375	
2200	1,53125	0,9375	
2400	1,53125	1	
2600	1,5625	0,9375	
2800	1,59375	0,84375	
3000	1,625	0,8125	
3200	1,59375	0,84375	
3400	1,5625	0,84375	
3600	1,5625	0,8125	
3800	1,53125	0,78125	
4000	1,5	0,71875	
4200	1,40625	0,6875	
4400	1,34375	0,65625	
4600	1,28125	0,625	
4800	1,15625	0,59375	
5000	1,0625	0,5	
5200	0,96875	0,4375	

Obr. 31: Exportovaná data v souboru txt

Opět pokračuje série svarů, pomocí které docílíme pozorované opotřebení elektrody a s ním spojené zhoršení kvality bodového svaru [18]. Zkouška životnosti elektrod byla uzpůsobena pro naše účely. Opotřebení elektrody v příloze 3. Počet svarů byl limitován až do okamžiku, kdy se přestanou tvořit svarové čočky.

Hodnoty maximálního napětí, které je svar schopen přenést byly zjištěny na trhacím stroji TIRATEST 2300. Jde o univerzální zkušební stroj vhodný pro tahové, tlakové a ohybové zkoušky do maximálního zatížení 100kN. Hodnoty byly následně vyhodnoceny a odečteny z obrazovky monitoru.

Pro zjištění velikosti svarové čočky a tepelně ovlivněné oblasti bylo třeba využít mikroskop, pomocí kterého lze poměrně rychle odečíst požadované rozměry, díky software, který je vybaven funkcí pro měření rozměrů.

Tabulka naměřených hodnot je v příloze 1.

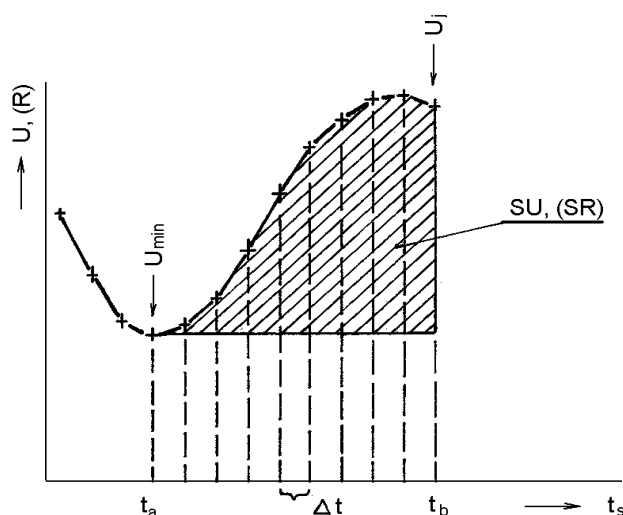
7.4 Zpracování dat a vyhodnocení

Vyhodnocení dat získaných z osciloskopu, Miyachi MM-356B a z tahové zkoušky (tab. 8) proběhlo v programu Microsoft Office Excel 2007, který disponuje potřebnými statistickými a logickými funkcemi. Po importu dat do určených sloupců program na základě zadaného přepočtového koeficientu určí Excel skutečný proud a dopočítá okamžitý odpor. Dále bylo třeba najít v sinusoidním průběhu svařovacího proudu (svařovací čas) maxima a minima proudu (v absolutních hodnotách) a zjištěné hodnoty zapsat do tabulky. Tato skutečnost je řešena pomocí konstanty, celkový průběh se pro 8 period rozdělí na 16 intervalů, ve kterých hledáme maxima respektive minima. Velikost konstanty má také funkci eliminovat výkyvy proudu, při kterých dochází kolem nulové hodnoty. Tyto hodnoty jsou převedeny do tabulky a k nim přiřazeny odpovídající hodnoty času, napětí a odporu. Podrobný rozbor programu je zapsán v příloze č. 5.

V rámci práce [3] Neumann stanovil souvislost mezi rozměrem svaru a veličinami nazvanými SU a SR. Tyto veličiny se vypočítají z časových průběhů napětí mezi elektrodami a odporu stanoveného v okamžicích kdy svařovací proud dosahuje maxima v jednotlivých půlperiodách. Pro stanovení veličin SU a SR byl použit vzorec (4), skrývající v sobě algoritmus pro výpočet vyšrafované plochy pod

křivkou napětí a odporu (obr. 32). Pro stanovení hodnot SU a SR byl vyvinut program, který v sobě zahrnuje řadu funkcí, pro rychlé určení těchto údajů.

$$SU(i) = \Delta t \sum_{k=z+1}^j \left[\frac{U(i, k-1) + U(i, k)}{2} - U(i, z) \right] \quad (4)$$



Obr. 32: Schéma pro plochu SU a SR

U – napětí [V],

R – odpor [mΩ]

t_s – svařovací čas [μs]

U_{min} – minimální hodnota napětí v měřeném cyklu [V]

U_i – poslední hodnota napětí v měřeném cyklu [V]

t_a – první časová hodnota, která je určena U_{min} [μs]

t_b – poslední časová hodnota, která je určena U_i [μs]

Δt – rozdíl dvou časů ≈ konstanta [μs]

V průběhu svařování již zmíněných 401 svarů docházelo vlivem mechanických, elektrických, chemických a dalších vlivů k postupnému opotřebení špičky elektrody (příloha č. 4), což vede ke zvětšení průměru pracovní plochy elektrody. V tomto ohledu je důležitý tvar volené elektrodové čepičky, který může výrazně ovlivnit rychlost jejího opotřebení.

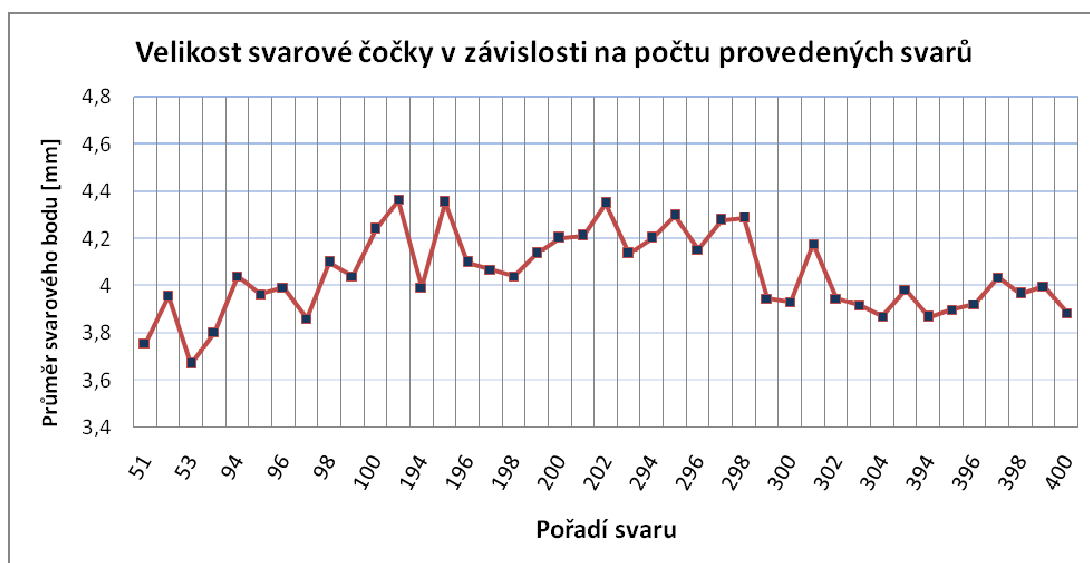
Změřené a vypočtené hodnoty nám umožňují graficky znázornit a ověřit některé teoretické vztahy, které mohou být důležité k pochopení podstaty odporového svařování.

Tab. 8: Tabulka s vyhodnocením měření

Č. sv.	I_{ef} [kA]	d_1 [mm]	d_2 [mm]	d [mm]	d_{a1} [mm]	d_{a2} [mm]	d_a [mm]	F_{max} [N]	SU [V·s]·10 ⁻⁶	SR [Ω·s]·10 ⁻⁹
51	8,8	3,765	3,745	3,755	5,989	6,008	5,998	4170	5621,875	800,357
52	8,8	4,183	4,734	3,958	6,332	6,484	6,408	4338,7	8284,375	1057,268
53	9,06	3,574	3,765	3,669	5,989	5,989	5,989	4011	6109,375	652,541
93	9,01	3,65	3,955	3,8025	6,332	5,932	6,132	4116,1	5593,75	941,807
94	9,04	3,974	4,107	4,041	6,275	6,046	6,161	4407,3	7800	237,566
95	8,87	3,841	4,088	3,965	6,103	5,799	5,951	3818,8	5471,875	198,476
96	8,92	3,879	4,107	3,993	6,179	5,932	6,056	4203,6	8900	1314,571
97	9,03	3,803	3,917	3,86	6,389	6,084	6,237	3930,4	7793,75	1105,484
98	8,83	3,917	4,278	4,098	6,427	5,97	6,199	4233,6	943,75	119,443
99	8,98	3,765	4,316	4,041	6,408	5,628	6,018	4119,3	8715,625	1026,456
100	8,93	4,164	4,316	4,24	6,122	6,294	6,208	4340,3	2665,625	217,346
193	8,96	4,24	4,487	4,364	6,294	6,294	6,294	4374	5937,5	783,643
194	9,14	3,765	4,221	3,993	6,065	6,313	6,189	3868,3	1537,5	203,249
195	9,12	4,316	4,392	4,354	6,294	6,56	6,427	4491	7959,38	1043,946
196	8,98	4,012	4,183	4,098	6,027	6,37	6,199	4221,6	2206,25	172,480
197	9,09	3,841	4,297	4,069	6,16	6,579	6,37	4424,1	Bez záznamu	
198	9,03	3,86	4,221	4,041	6,065	6,465	6,265	4283,1	9237,5	942,781
199	9,17	3,917	4,354	4,136	6,122	6,332	6,227	4286,9	Bez záznamu	
200	9,03	4,145	4,259	4,202	6,313	6,427	6,37	4368,6	1712,5	167,909
201	9,13	4,183	4,24	4,212	6,179	6,065	6,122	4507,3	4068,75	520,598
202	9,09	4,392	4,506	4,349	5,875	5,932	5,904	4483,4	3906,25	159,800
293	9,1	3,822	4,449	4,136	6,027	6,465	6,246	4324,4	471,875	34,938
294	9,07	3,936	4,468	4,202	5,894	6,236	6,065	3957,1	Bez záznamu	
295	8,88	3,898	4,696	4,297	6,122	6,484	6,303	4244,4	13268,75	1413,077
296	8,93	3,726	4,582	4,154	6,141	6,636	6,389	4124,1	Bez záznamu	
297	8,97	3,936	4,62	4,278	6,179	6,636	6,408	4247,2	Bez záznamu	
298	9,03	4,069	4,506	4,288	6,141	6,37	6,256	3821	612,5	104,245
299	8,99	3,593	4,297	3,945	5,609	6,294	5,952	3947,8	Bez záznamu	
300	9,13	3,289	4,373	3,931	5,837	6,332	6,085	4028,9	Bez záznamu	
301	8,95	3,898	4,658	4,178	5,97	6,427	6,199	4065,9	Bez záznamu	
302	9,16	3,555	4,335	3,945	5,894	6,179	6,037	4029,5	11087,5	816,472
303	9,11	3,441	4,392	3,917	5,723	6,503	6,113	3866,2	6500	0,000
304	9,14	3,384	4,354	3,869	5,875	6,332	6,104	3993	156,25	6,289
393	9,01	2,85	4,118	3,984	5,639	6,607	6,123	3485,7	1225	147,122
394	8,97	2,88	4,254	3,867	5,474	6,517	5,996	3342,1	0	16,338
395	9,11	3,377	4,42	3,899	5,413	5,913	5,663	3093,9	146,875	15,680

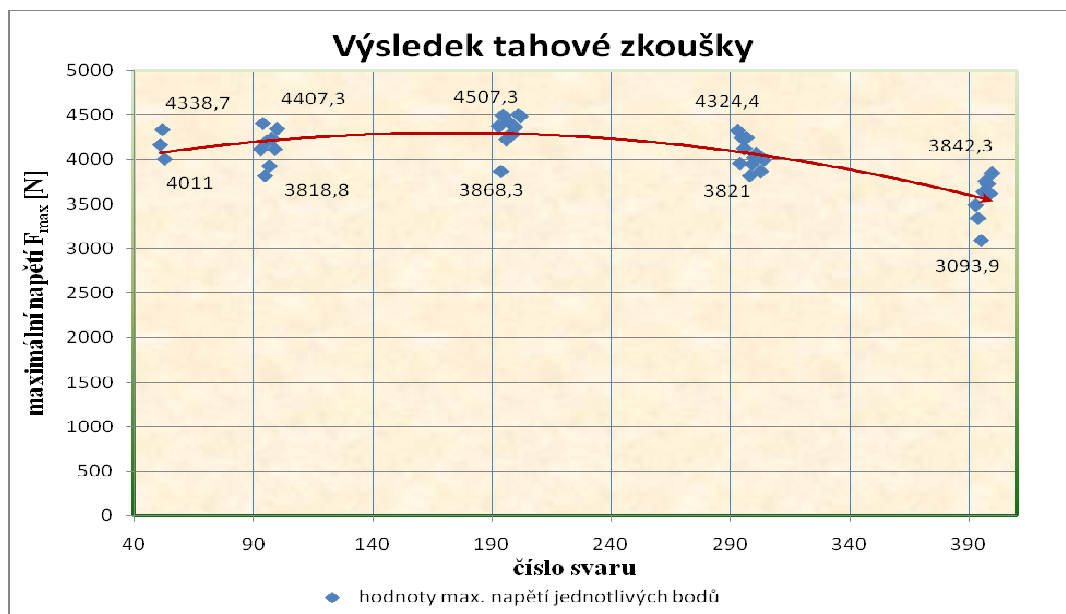
396	9,09	3,317	4,525	3,921	6,047	6,079	6,063	3636,6	621,875	48,594
397	9,12	3,438	4,631	4,035	5,82	6,275	6,048	3756,3	0	0,000
398	9,02	3,498	4,435	3,967	5,594	5,989	5,792	3729,1	14821,875	0,000
399	8,98	3,423	4,571	3,997	5,428	6,155	5,792	3614,2	0	0,000
400	9,12	3,664	4,103	3,884	5,67	6,17	5,92	3842,3	312,5	33,899

V grafu na obrázku č. 33 je znázorněn průměr svarové čocky v závislosti na počtu provedených bodových svarů. Lze z něj rozeznat, že průběh má v první polovině stoupající tendenci, ale okolo svaru č. 200 se již velikost svarové čocky zmenšuje.



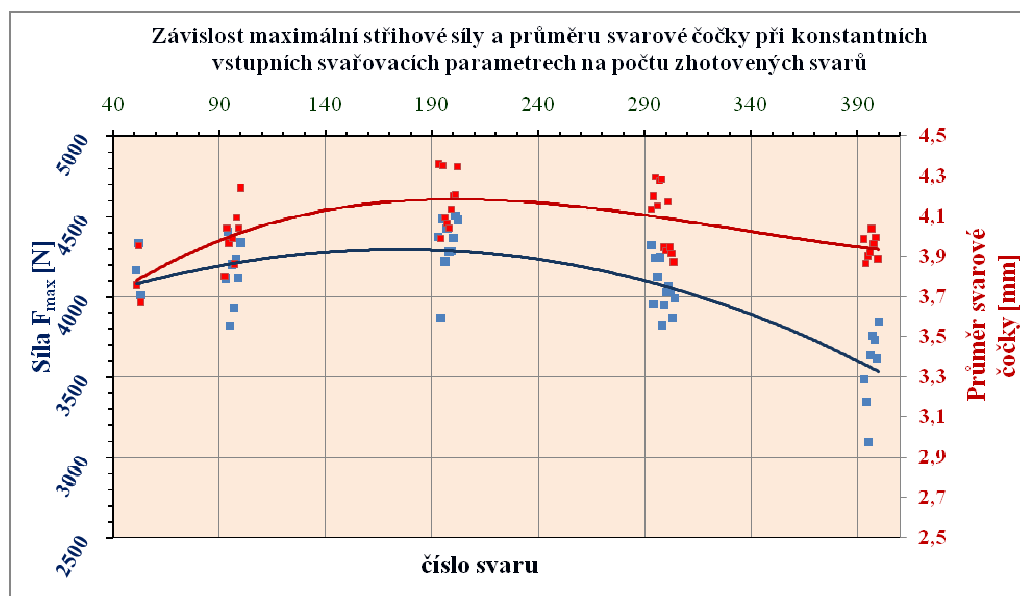
Obr. 33: Průběh velikosti svarové čocky u měřených svarů

Výsledky z tahové zkoušky nám umožňují kontrolu bodového svaru na maximální sílu, kterou je svar schopen ve stříhu přenést. Pro lepší představu jsou vyneseny hodnoty proloženy regresní křivkou, která nám napoví o dalším vývoji průběhu hodnot (obr. 34)



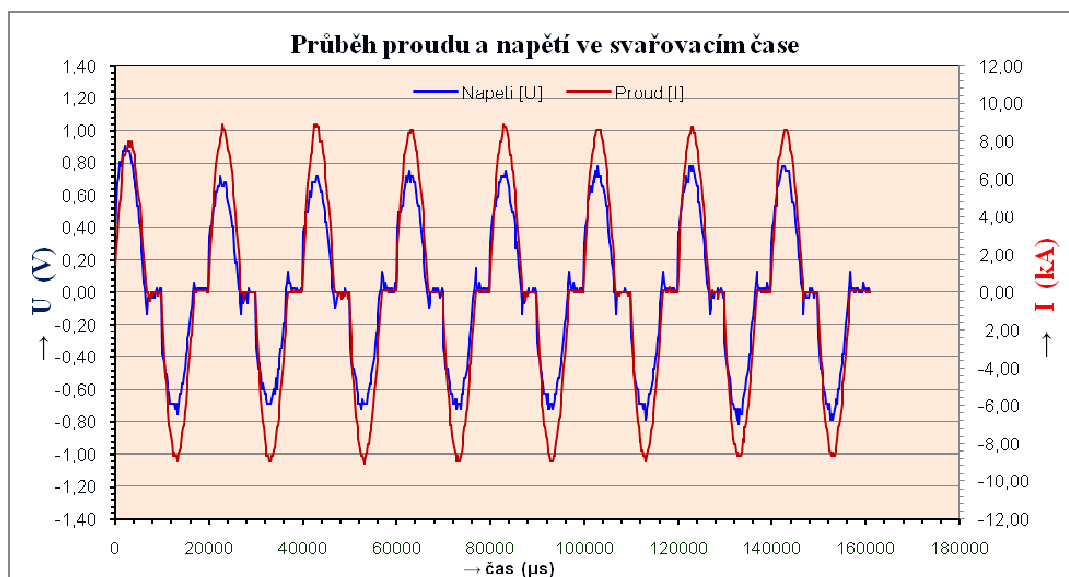
Obr. 34: Grafické vyhodnocení tahové zkoušky

Dále jsem graficky zaznamenal závislost maximální síly a průměru svarové čocky na počtu zhotovených svarů (obr. 35). Na obrázku je názorně vidět, že s růstem pracovní plochy elektrody klesá průměr svarové čocky. To je způsobeno především poklesem proudové hustoty v místě spojení, vlivem zvětšující se pracovní plochy elektrody. Po určitém počtu zhotovených svarů, začne klesat také smykové napětí, které je svar schopen přenést.



Obr. 35: Závislost maximální síly a průměru svarové čocky na počtu provedených svarů

Při každém měření bodového svaru byl zaznamenán průběh svařovacího proudu a napětí. Obrázek č. 36 zobrazuje průběh pro bodový svar číslo 52.

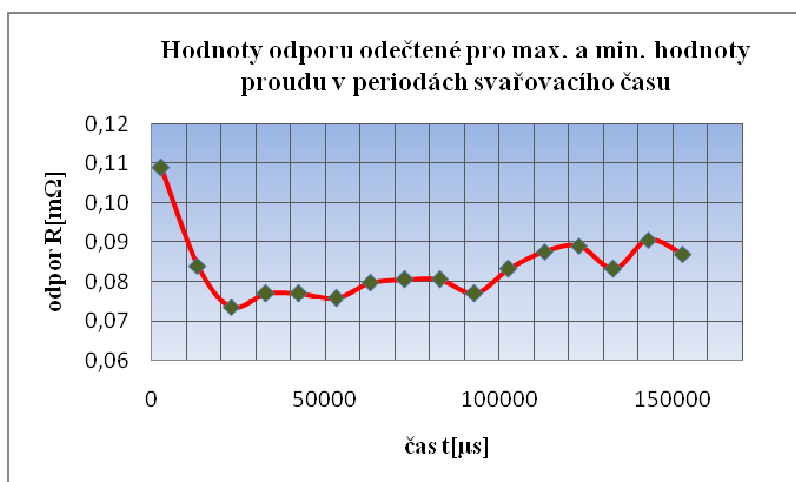


Obr. 36: Graf s průběhem napětí a proudu přepočteného koeficientem pro 8 period

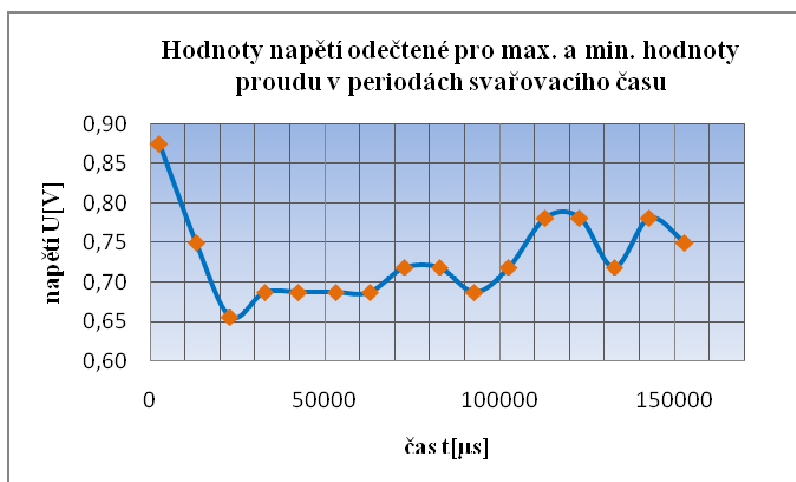
Výstupem z programu v Excelu je jak tabulka hodnot (tab. 9), tak i grafické vyhodnocení průběhu dynamického odporu, napětí a proudu (obr. 37, 38, 39).

Tab. 9: Maximální hodnoty dynamického proudu s časem a k němu odečtené příslušné hodnoty napětí s dopočítaným odporem.

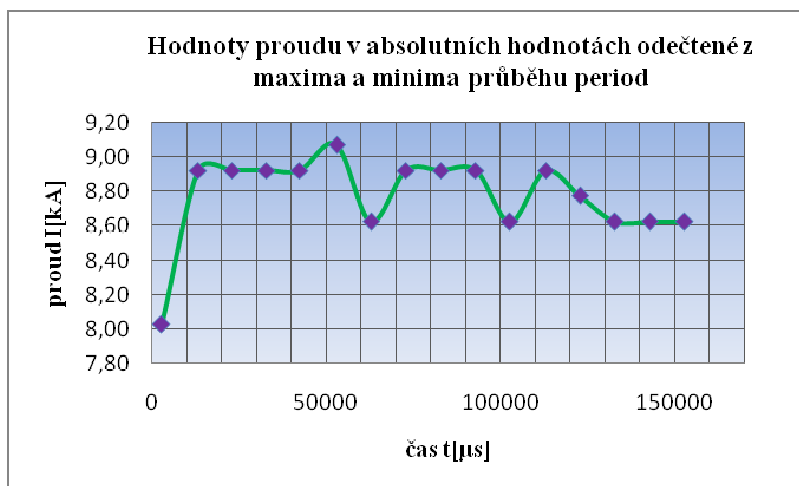
Čas t [μs]	Napětí U[V]	Proud I[kA]	Odpor R[mΩ]
2600	0,8750000	8,0290643	0,1089791
13200	0,7500000	8,9211825	0,0840696
22800	0,6562500	8,9211825	0,0735609
32800	0,6875000	8,9211825	0,0770638
42400	0,6875000	8,9211825	0,0770638
53000	0,6875000	9,0698689	0,0758004
62800	0,6875000	8,6238098	0,0797211
72800	0,7187500	8,9211825	0,0805667
82800	0,7187500	8,9211825	0,0805667
92800	0,6875000	8,9211825	0,0770638
102600	0,7187500	8,6238098	0,0833448
113000	0,7812500	8,9211825	0,0875725
122800	0,7812500	8,7724961	0,0890568
132800	0,7187500	8,6238098	0,0833448
142800	0,7812500	8,6238098	0,0905922
152800	0,7500000	8,6238098	0,0869685



Obr. 37: Grafické vyhodnocení časové závislosti hodnot dynamického elektrického odporu (svar č. 52)

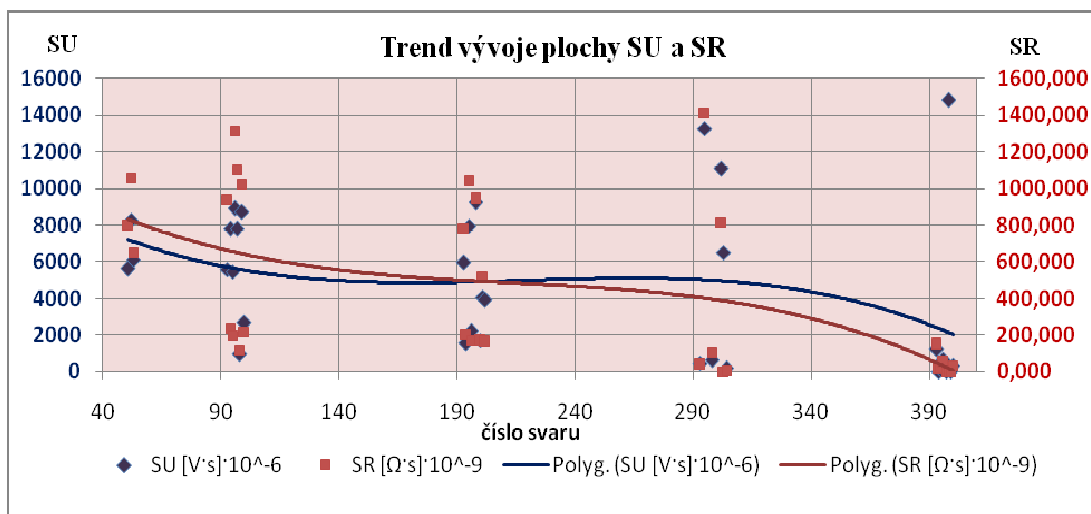


Obr. 38: Grafické vyhodnocení časové závislosti hodnot dynamického napětí (svar č. 52)



Obr. 39: Grafické vyhodnocení časové závislosti hodnot dynamického proudu (svar č. 52)

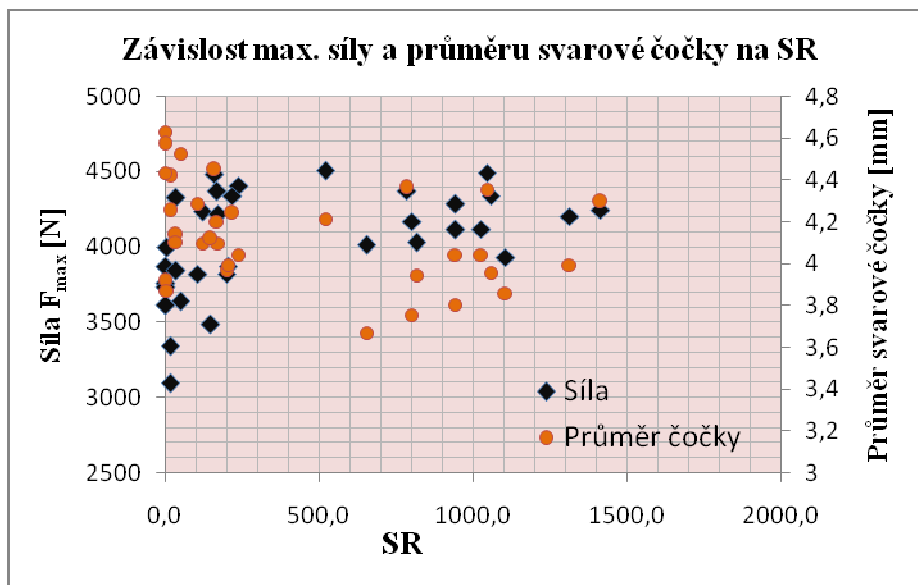
Pomocí experimentálního programu jsem spočítal všechny dostupné hodnoty SU a SR (tab. 8) a stanovil závislost na počtu respektive množství provedených svarů (obr 40).



Obr. 40: Trend vývoje plochy SU a SR s počtem provedených bodových svarů.

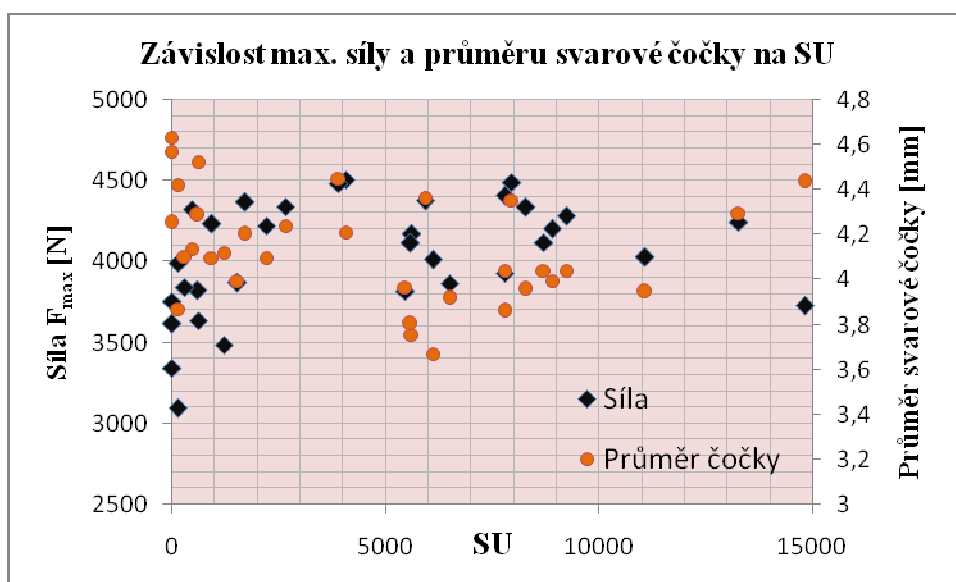
Závislost maximální střížné síly a průměru svarové čocky na SR je zobrazen na obr. č. 41 a na hodnotě SU na obr. č. 42. U těchto závislostí je zajímavé si všimnout, že u obou grafů se vytvořily 2 skupiny bodů. Jedna se pohybuje v minimálních hodnotách SR, (SU) a druhá ve střední části u obou grafů. Tato skupina pro minimální hodnoty SR, (SU) vznikla poklesem proudu respektive napětí

v průběhu svařovacího času a to způsobilo "chybu" v algoritmu pro výpočet ploch SR a SU. Dva různé dynamické průběhy pro odpor jsou uvedeny v obrázku č. 43 a 44, pro dynamický průběh napětí obrázky č. 45 a 46.

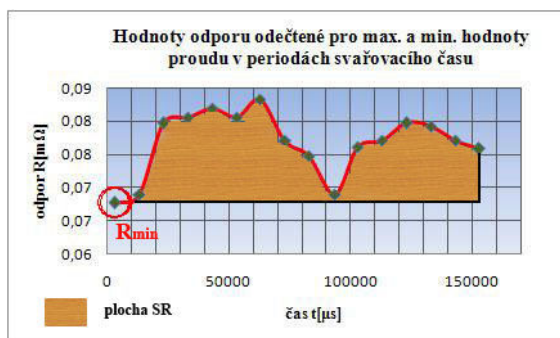


Obr. 41: Závislost maximální střižné síly F_{max} a průměru svarové čocky na SR.

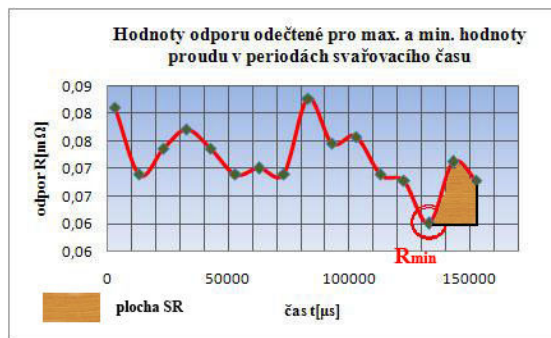
Skupina bodů ve střední části grafů odráží skutečný sled informací, které určují vlastnosti bodového svaru.



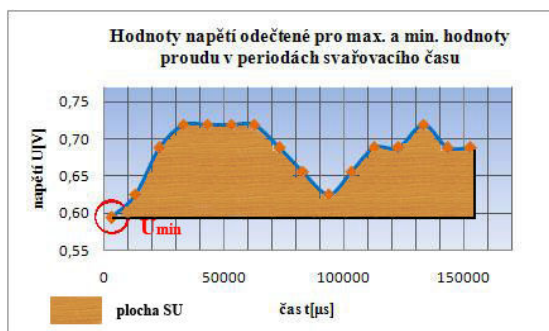
Obr. 42: Závislost maximální střižné síly F_{max} a průměru svarové čocky na SU.



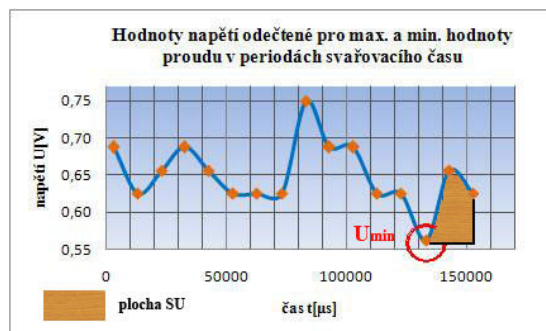
Obr. 43: Odpovídající hodnota SR
(SR = 1413,077) (vzorek č. 295).



Obr. 44: Neodpovídající hodnota SR
(SR = 147,122) (vzorek č. 393).



Obr. 45: Odpovídající hodnota SU
(SU = 13268,75) (vzorek č. 295).



Obr. 46: Neodpovídající hodnota SU
(SU = 1225) (vzorek č. 393).

8. Závěr

Smyslem diplomové práce bylo monitorování vybraných parametrů svařovacího procesu a kvalita bodových svarů s návrhem postupu pro zpracování naměřených dat v krátkém čase po zhotovení svaru. Tento postup by umožňoval úpravu vstupních svařovacích parametrů, což by mělo pozitivní vliv na monitorování procesu svařování a také vliv na výslednou kvalitu bodových svarů.

Na základě těchto požadavků jsem navrhl postup v programu Excel (příloha č. 5), který dokáže stanovit dynamické průběhy svařovacího proudu a napětí, a k těmto hodnotám přiřadit příslušný časový okamžik. Vše je zpracováno do přehledných tabulek a grafů, které představují vývoj jednotlivých parametrů v závislosti na svařovacím čase.

Dále jsem se zabýval řešením ploch SR a SU, které v sobě zahrnují řadu vlivů a parametrů, spojených s kvalitou výsledné jakosti svaru. Stanovení těchto hodnot však v sobě skrývá řadu překážek, nad kterými je potřeba se ještě zamyslet. Řešením by bylo najít optimální matematický postup, který by vhodně stanovil okrajové

podmínky řešení. Algoritmus, který jsem navrhl, pracuje tak, že hledá v celém průběhu pro R , (U) minimální hodnotu a od této hodnoty začne počítat plochu pod křivkou dynamického průběhu těchto veličin. Pokud se ale stane, že klesne hodnota R , (U) (obr. 44 a 46) například ke konci svařovacího času, pod hodnotu minima na začátku děje, plocha SR , (SU) se začne počítat od tohoto bodu. Tím pádem dojde k chybě, a velikost SR , (SU) nepředstavuje její skutečnou hodnotu.

Z naměřených a vyhodnocených hodnot jsem zjistil řadu skutečností, jako je závislost změny velikosti čocky bodového svaru na množství provedených svarů (obr 33). Dále vliv počtu bodových svarů na maximální sílu ve stříhu, kterou je svar schopen přenést (obr 34). Pomocí experimentálního programu jsem stanovil, že s nárůstem opotřebení elektrod (se zvětšující se pracovní plochou elektrody) klesá plocha SR , (SU) (obr. 40). Poslední uvedený graf představuje závislost maximální střížné síly F_{\max} a průměru svarové čocky na SR , (SU) .

9. Použitá literatura

- [1] M. HLUCHÝ, J. KOLOUCH, R. PAŇÁK.: Strojírenská technologie 2, Polotovary a jejich technologičnost 1. Díl, Praha 1998, s. 183 – 189.
- [2] PACÁK, J.: Bodové odporové svařování vysokopevnostních plechů v automobilovém průmyslu. [Diplomová práce], Fakulta strojní TUL.
- [3] NEUMANN, H.: Sledování a řízení svařovacího procesu při bodovém odporovém svařování žárově pohlínkovaných ocelových plechů [Disertační práce]. Liberec 1990, Fakulta strojní VŠST.
- [4] PLÍVA, L.: Odporové svařování v praxi. 2. vydání Praha, SNTL, 1963.
- [5] HONZÍK E. a kol.: Odporové svařování. Sborník výtahů z referátů výzkumníků a praktiků. 1 vydání Praha, SNTL, 1955
- [6] Kuncipál, J. a kol.: Teorie svařování. Praha: SNTL, 1986.
- [7] JORDÁN, S.: Monitorování základních elektrických veličin u vybraných metod odporového svařování. [Diplomová práce]. Liberec 2008

- [8] VÚZ, Kolektív autorov.: Zváracie metódy a zariadenia. II. diel učebných textov pre kurzy zvaračských technológov. Ostrava. ZEROSS, 2000
- [9] PLÍVA, L.: Odporové svařování. Praha, 1975
- [10] CHVOJKA, O.: Analýza procesních veličin u odporového bodového svařování. [Bakalářská práce]. Liberec : TU, 2005. 89 s. příl. TU Liberec – fakulta strojní.
- [11] JANOTA, M.: Procesy a riadenie odporového zvarania. Bratislava, VÚZ 1985. 317 s.
- [12] IIW - Commission III .: Doc. III-1381-06. "Resistance welding, solid state welding and allied joining processes". Dokumenty IIW. 2006.
- [13] Hadyna - International, Ostrava. Ing. Martin Janota, Weldconsult, spol. s r. o. [cit. 7 May 2009]. Dostupné z WWW: www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2008-2_Odporove-svarovani.pdf
- [14] ČVUT, Teoretický úvod k cvičení z předmětu Technologie I: Hodnocení kvality svarového spoje. [cit. 9 May 2009]. Dostupné z WWW: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def_kontrola_sv.pdf
- [15] KRO-MEL, [cit. 24 May 2009]. Dostupné z WWW: <http://www.kro-mel.cz/produkty/elektrody.htm>
- [16] ETC, [cit. 31 May 2009]. Dostupné na WWW: <http://www.etc.sk.com/products/m520/m524.php?lang=svk>
- [17] ČSN EN ISO 4063. Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování. Praha: Český normalizační institut, 2001. 20 s.
- [18] ČSN EN ISO 8166. Odporové svařování - způsob hodnocení životnosti bodových elektrod při konstantním nastavení stroje. Praha: Český normalizační institut, 2004. 16 s.
- [19] ČSN EN ISO 14610. Svařování a příbuzné procesy – Definice metod svařování kovů. Praha: Český normalizační institut, 2005. 98 str.
- [20] ČSN EN ISO 17653. Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkouška krutem odporových bodových svarů. Praha: Český normalizační institut, 2004. 12 str.
- [21] ČSN EN ISO 14273. Rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Praha: Český normalizační institut, 2003. 16 str.

- [22] ČSN EN ISO 14270. Rozměry vzorku a postup pro mechanizované odlupovací zkoušení odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Praha: Český normalizační institut, 2003. 16 str.
- [23] ČSN EN ISO 17653. Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkouška krutem odporových bodových svarů. Praha: Český normalizační institut, 2004. 12 str.
- [24] ČSN EN 970. Nedestruktivní zkoušení tavných svarů - Vizuální kontrola. Praha: Český normalizační institut, 1998. 16 str.
- [25] ČSN EN 1290. Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarů magnetickou metodou práškovou. Praha: Český normalizační institut, 2000. 16 str.
- [26] ČSN EN 1291. Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarů magnetickou metodou práškovou - Stupně přípustnosti. Praha: Český normalizační institut, 2000. 8 str.
- [27] ČSN EN 1714. Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarových spojů ultrazvukem. Praha: Český normalizační institut, 1999. 32 str.
- [28] ČSN EN 1712. Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení svarových spojů ultrazvukem - Stupně přípustnosti. Praha: Český normalizační institut, 1999. 16 str.
- [29] ČSN EN 1435. Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení svarových spojů. Praha: Český normalizační institut, 1999. 36 str.
- [30] ČSN EN ISO 15609-5. Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Specifikace postupu svařování - Část 5: Odporové svařování. Praha: Český normalizační institut, 2005. 20 str.
- [31] ČSN EN ISO 15614-12. Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování - Část 12: Bodové, švové a výstupkové svařování. Praha: Český normalizační institut, 2005. 16 str.
- [32] ČSN EN ISO 14329. Odporové svařování - Destruktivní zkoušky svarů - Typy porušení a geometrická měření odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Praha: Český normalizační institut, 2004. 16 str.
- [33] ČSN 05 0003. Zváranie. Odporové zváranie. Základné pojmy. Československá štátna norma. 1992. 96 str.
- [34] ČSN EN ISO 15614-12. Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupu svařování - Část 12: Bodové, švové a výstupkové svařování. Český normalizační institut. 2005. 26 str.

- [35] ČSN EN 25821. Elektrodové čepičky pro odporové bodové svařování.
Technická normalizační komise. 1996. 8 str.

Seznam příloh:

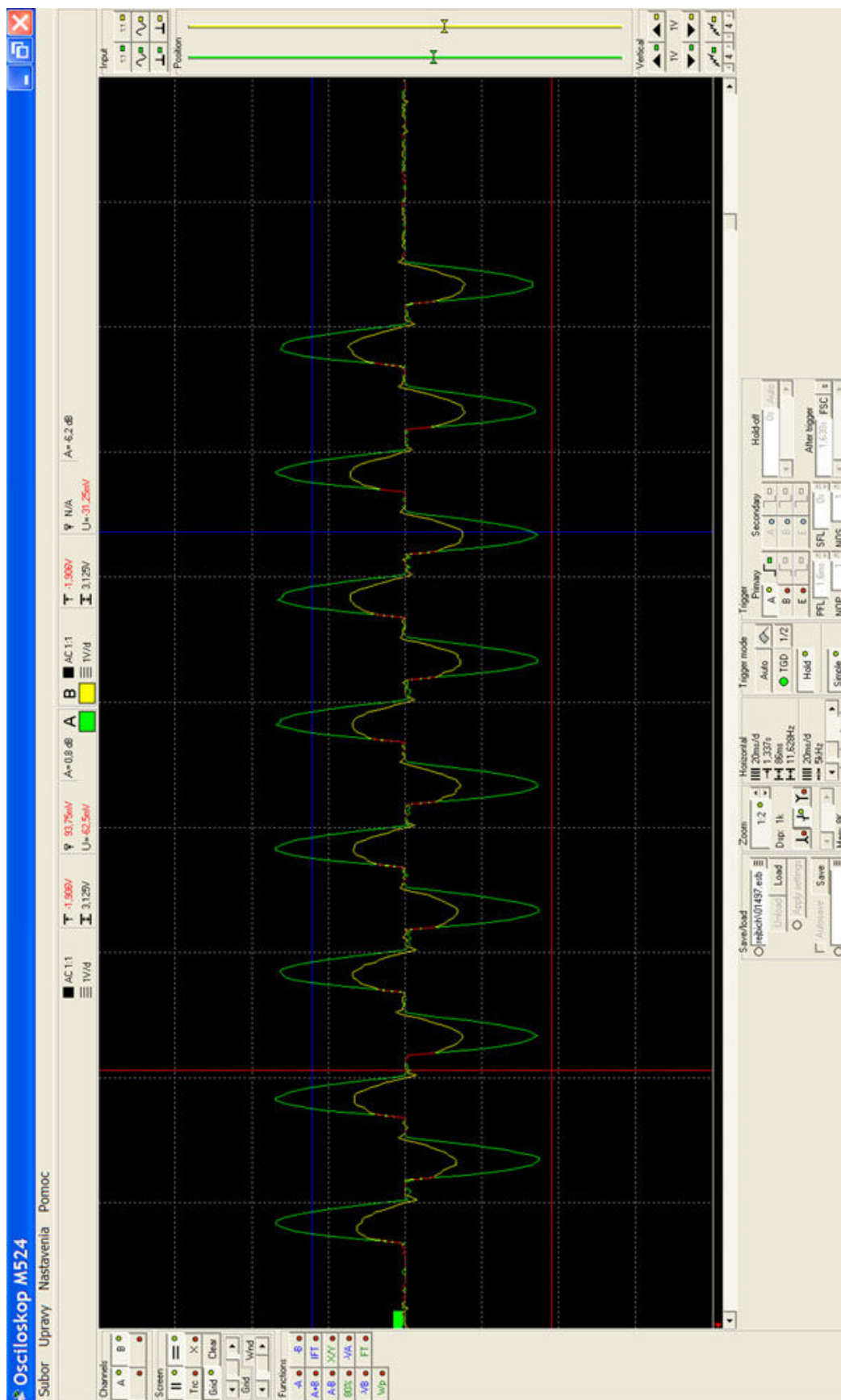
- Příloha č. 1: Tabulka naměřených hodnot
Příloha č. 2: Obrazovka programu k osciloskopu ETC-M524
Příloha č. 3: Odlupovací zkouška
Příloha č. 4: Opotřebení elektrod
Příloha č. 5: Podrobný rozbor programu v Microsoft Excel 2007

Příloha č. 1: Tabulka naměřených hodnot 1/2

Číslo svaru	Číslo svaru MM-356B	I _{ef} (kA)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d (mm)	d _{a1} (mm)	d _{a2} (mm)	d _a (mm)	F _{max} (N)	Poznámka	
1	01531	8,11								Výkon 50%, F _s 2250N	
2	01352	8,14								-/-	
3	01533	8,2								-/-	
4	01534	8,98								Výkon 55%	
5	01535	9,97								Výkon 60%	
6	01536	9,97								-/-	
7	01537	9,95	Odlupovací zkouška, svar je velký cca 6 mm								-/-, Bez záznamu
8	01538	8,81	Odlupovací zkouška, svar je velký cca 5 mm								Výkon 55%
9	01539	8,93								-/-	
Od svaru č. 10 do 50 tytéž parametry a bez záznamů.											
50	01580		Odlupovací zkouška, svar je velký cca 4,4 mm								
51	01581	8,8	3,765	3,745	3,755	5,989	6,008	5,998,5	4170	Výkon 50%	
52	01582	8,8	3,734	4,183	3,958	6,332	6,484	6,408	4338,7		
53	01583	9,06	3,574	3,765	3,669	5,989	5,989	5,989	4011		
Od svaru č. 54 do 92 parametry stejné a bez záznamu.											
93	01623	9,01	3,650	3,955	3,8025	6,332	5,932	6,132	4116,1	Výkon 50%	
94	01624	9,04	3,974	4,107	4,041	6,275	6,046	6,161	4407,3		
95	01625	8,87	3,841	4,088	3,965	6,103	5,799	5,951	3818,8		
96	01626	8,92	3,879	4,107	3,993	6,179	5,932	6,056	4203,6		
97	01627	9,03	3,803	3,917	3,860	6,389	6,084	6,237	3930,4		
98	01628	8,83	3,917	4,278	4,098	6,427	5,970	6,199	4233,6		
99	01629	8,98	3,765	4,316	4,041	6,408	5,628	6,018	4119,3		
100	01630	8,93	4,164	4,316	4,240	6,122	6,294	6,208	4340,3		
101	01630		Odlupovací zkouška, svar je velký cca 3,6 mm								
Od svaru č. 101 do 192 parametry stejné a bez záznamu.											
193	01723	8,96	4,240	4,487	4,364	6,294	6,294	6,294	4374	Výkon 50%	
194	01724	9,14	3,765	4,221	3,993	6,065	6,313	6,189	3868,3		
195	01725	9,12	4,316	4,392	4,354	6,294	6,560	6,427	4491		
196	01726	8,98	4,012	4,183	4,098	6,027	6,370	6,199	4221,6		
197	01727	9,09	3,841	4,297	4,069	6,160	6,579	6,37	4424,1	Bez záznamu	

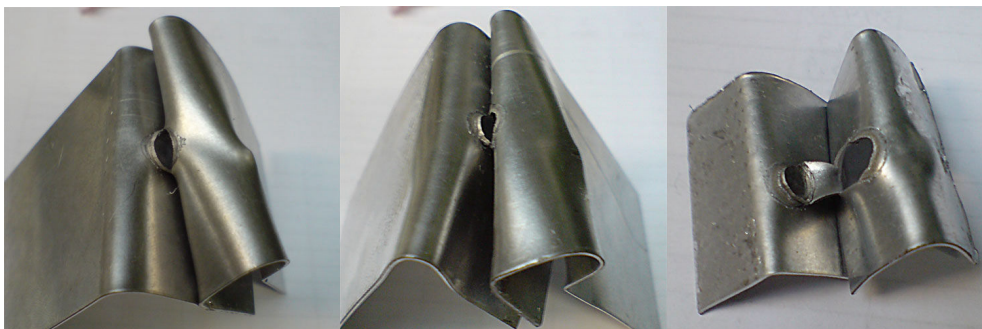
Tabulka naměřených hodnot 2/2

Č. sv.	MM-356B	I _{ef} (kA)	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	d (mm)	d _{a1} (mm)	d _{a2} (mm)	d _a (mm)	F _{max} (N)	Poznámka
198	01728	9,03	3,860	4,221	4,041	6,065	6,465	6,265	4283,1	
199	01729	9,17	3,917	4,354	4,136	6,122	6,332	6,227	4286,9	Bez záznamu
200	01730	9,03	4,145	4,259	4,202	6,313	6,427	6,370	4368,6	
201	01731	9,13	4,183	4,240	4,212	6,179	6,065	6,122	4507,3	
202	01732	9,09	4,392	4,506	4,449	5,875	5,932	5,904	4483,4	
203	01732	Odlupovací zkouška, došlo k odtržení v ose svaru								
Od svaru č. 203 do 292 parametry stejné a bez záznamu.										
293	01823	9,10	3,822	4,449	4,136	6,027	6,465	6,246	4324,4	
294	01824	9,07	3,936	4,468	4,202	5,894	6,236	6,065	3957,1	Bez záznamu
295	01825	8,88	3,898	4,696	4,297	6,122	6,484	6,303	4244,4	
296	01826	8,93	3,726	4,582	4,154	6,141	6,636	6,389	4124,1	Bez záznamu
297	01827	8,97	3,936	4,620	4,278	6,179	6,636	6,408	4247,2	Bez záznamu
298	01828	9,03	4,069	4,506	4,288	6,141	6,370	6,256	3821	
299	01829	8,99	3,593	4,297	3,945	5,609	6,294	5,952	3947,8	Bez záznamu
300	01830	9,13	3,289	4,373	3,831	5,837	6,332	6,085	4028,9	Bez záznamu
301	01831	8,95	3,898	4,658	4,278	5,970	6,427	6,199	4065,9	Bez záznamu
302	01832	9,16	3,555	4,335	3,945	5,894	6,179	6,037	4029,5	
303	01833	9,11	3,441	4,392	3,917	5,723	6,503	6,113	3866,2	
304	01834	9,14	3,384	4,354	3,869	5,875	6,332	6,104	3993	
306	01836	Odlupovací zkouška, svar je velký cca 2,4 mm								
Od svaru č. 305 do 392 parametry stejné a bez záznamu.										
393	01923	9,01	2,850	4,118	3,184	5,639	6,607	6,123	3485,7	
394	01924	8,97	2,880	4,254	3,567	5,474	6,517	5,996	3342,1	
395	01925	9,11	3,377	4,420	3,899	5,413	5,913	5,663	3093,9	
396	01926	9,09	3,317	4,525	3,921	6,047	6,079	6,063	3636,6	
397	01927	9,12	3,438	4,631	4,035	5,820	6,275	6,048	3756,3	
398	01928	9,02	3,498	4,435	3,967	5,594	5,989	5,792	3729,1	
399	01929	8,98	3,423	4,571	3,997	5,428	6,155	5,792	3614,2	
400	01930	9,12	3,664	4,103	3,884	5,670	6,170	5,920	3842,3	
401	01931	Odlupovací zkouška, došlo k odtržení v ose svaru.								



Příloha č. 3: Odľupovací zkouška

Pohled na zdeformovaný bodový svar způsobený odlupovací zkouškou.
Měření průměr vytrženého bodu [22].



Svar č. 7:

velikost bodu 7 [mm]

svar č. 8:

velikost bodu 6 [mm]

svar č. 50:

velikost bodu 4,4 [mm]



svar č. 101:

velikost bodu 3,6 [mm]

svar č. 203:

vytržen v dělicí rovině

svar č. 306:

velikost bodu 2,4 [mm]

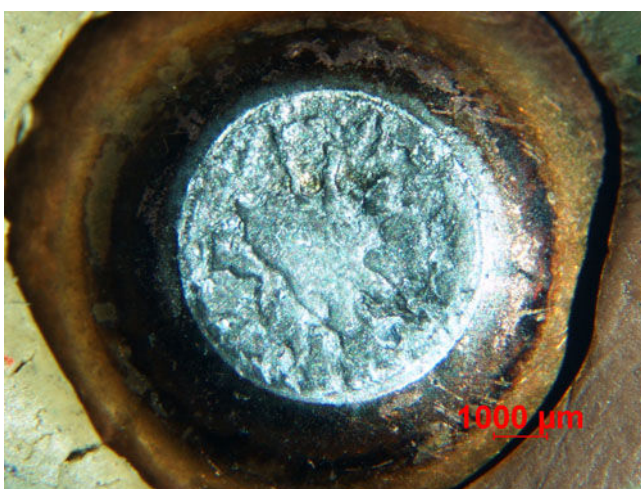


svar č. 401: svar vytržen v dělicí rovině

Příloha č. 4: Opotřebení elektrod po 401 zhotovených bodových svarech



Nová elektroda, průměr pracovní plochy 4,5 [mm]



Vrchní použitá elektroda, průměr pracovní plochy 5,8 [mm]



Spodní použitá elektroda, průměr pracovní plochy 5,6 [mm]

Příloha č. 5: Podrobný rozbor programu v Excelu

Pro zpracování a vyhodnocení dat experimentu byl zvolen Microsoft Excel 2007. Aplikace Office Excel 2007 poskytuje nové uživatelské rozhraní orientované na výsledky, nové zobrazení kontingenčních tabulek, které se snadněji vytvářejí a používají, má vylepšené vytváření vzorců, bohatou vizualizaci dat a rychlejší způsob vytváření profesionálních tabulek a grafů.

Samotný program je rozepsán do dvou listů. Tabulky a pomocné tabulky. List

37		6200	0,2812500
38		6400	0,1250000
39		6600	0,0000000
<div> <div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> <div> <div></div> <div></div> <div></div> </div> </div>		Tabulky	Pomocne tabulky
Připraven			

"Tabulky" obsahuje vstupní a výstupní hodnoty a grafy. V listu "Pomocné tabulky" jsou všechny algoritmy potřebné pro výpočet výstupních hodnot.

A) List "Tabulky"

Sloupec C, D, E představuje vstupní naměřené hodnoty. Jde o čas, proud (ve skutečnosti indukovaného napětí) a napětí. Tabulka je limitována 2000 řádky, to ale bezpečně postačuje i pro 16 period svařovacího času.

Sloupec F je skutečný proud, přepočítaný koeficientem, který je v buňce F2 (tuto hodnotu lze měnit podle potřeby).

Sloupec G obsahuje vzorec pro výpočet odporu, přičemž výpočet se neprovádí v případě nulové hodnoty proudu, kde by docházelo k dělení nulou. Všechny těchto 5 sloupců obsahuje filtr, kterým lze vyloučit nežádoucí hodnoty.

Sloupec I, J, K a L jsou jen výpisy, které se odkazují na list "Pomocné tabulky".

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Koeficient pro přepočet proudu: 4,7580

Naměřené hodnoty				
Cas [t]	Proud [I]/4,	Napeti [U]	Proud [I]	Odpor [R]
0	0,3125000	0,3750000	1,4868638	0,2522087
200	0,5000000	0,5625000	2,3789820	0,2364457

Hodnoty při max/min I			
Cas [t]	Napeti [U]	Proud [I]	Odpor [R]
2600	0,8750000	8,0290643	0,1089791
13200	0,7500000	8,9211825	0,0840696

Hodnota SU a SR je uvedena v buňce K45 a K46. Jedná se opět o výpis hodnoty z listu "Pomocné tabulky". Obsažené grafy se odkazují na vstupní a výstupní hodnoty v tomto listu.

B) List "Pomocné tabulky"

Tento list zahrnuje celý algoritmus výpočtu výstupních hodnot rozdělený do dvou tabulek. V první tabulce probíhá určení lokálních extrémů a sestavení odkazu na ně, zatím co ve druhé tabulce probíhá rozložení komplexního odkazu z předchozí tabulky, určení hodnot a výpočty ploch.

Hlavní myšlenka první tabulky je postavena na rozdělení dynamického sinusoidního průběhu proudu do určitých intervalů, ve kterých jsou později zjišťovány lokální extrémy. Řešení bylo možné pomocí konstanty (buňka F2), která se automaticky spočítá z rozsahu dynamického průběhu proudu, a která určuje „oříznutí“ grafu a rozpad do jednotlivých intervalů (bloků). Dále bylo třeba zjistit, kolik hodnot vzniklý blok obsahuje, aby následná funkce správně stanovila hledaný extrém průběhu proudu. Tento koeficient velikosti bloku se rovněž stanovuje automaticky (buňka F1). Použité funkce jsou popsány v nápovědě programu Excel.

Sloupce B a C obsahují hodnoty času a proudu z listu "Tabulky" (sloupce C a D).

Ve sloupci D jsou hodnoty proudu v absolutní hodnotě, omezené stanovenou konstantou, které jsou rozděleny do několika intervalů (pro 8 period je to 16 intervalů).

Ve sloupci E jsou hodnotám z vybraných intervalů přiřazeny odpovídající časy.

Sloupec F vrací signum původní hodnoty proudu, a to pouze na prvním řádku každého intervalu. Pomocí tohoto sloupce je počítán koeficient velikosti bloku. V obou následujících sloupcích, **G** a **H**, vytvářím odkaz na skupinu, kde se má vyhledávat maximum absolutní hodnoty proudu s časem v daném okamžiku. Velikost skupiny je určena koeficientem velikosti bloku (buňka F1).

Sloupec I obsahuje funkci MAX, která mi poskytne údaj o nejvyšší hodnotě a ve sloupci **J** za pomoci funkce SVYHLEDAT získám již zmiňovaný čas při maximální hodnotě proudu. Pro získání obou předchozích hodnot je použita funkce NEPŘÍMÝ.ODKAZ, která převede textově zapsaný odkaz se sloupců **G** a **H** na odkaz. Všechny tyto hodnoty ve sloupcích **F** až **J** jsou zobrazovány pouze na prvním řádku každé skupiny. Poslední sloupec této tabulky (**K**) slouží k sestavení skupiny odkazů na buňky s časy jednotlivých extrémů. Vzorec v tomto sloupci je natolik komplikovaný a jednoúčelový, že by rozebírání jeho funkčnosti bylo jen ztrátou času. Výsledný soubor odkazů je v buňce K4.

Komplexní soubor odkazů je nyní potřeba rozložit na jednotlivé elementární odkazy, o což se postará druhá tabulka. První dva sloupce **M** a **N** určují pozici prvního a posledního písmene elementárního odkazu v celém souboru odkazů. V následujícím sloupci **O**, jsou již jednotlivé odkazy a ve sloupci **P** jsou hodnoty z odkazů, tedy časy jednotlivých extrémů.

Ve sloupci **Q** a **R** jsou dohledané hodnoty odporu a napětí v čase ze sloupce **P** ze vstupních dat. V buňkách **S5** a **T5** jsou spočteny minima napětí a proudů z předchozích dvou sloupců, které jsou použity při výpočtu hodnot plochy, resp. o tyto hodnoty jsou poníženy hodnoty odporu a napětí, která jsou uložena ve sloupcích **S** a **T**. S těmito hodnotami se pracuje při výpočtu plochy (sloupce **U** a **V**). V buňkách **U5** a **V5** jsou spočteny celkové plochy.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce.

Datum: 31. května 2009

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis.

Date: 31. May 2009

Signature: